MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Viabilidades Técnica e Económica da Digestão Anaeróbia Aplicada ao Tratamento dos Resíduos das Boviniculturas da Área Metropolitana do Porto

Maria Francisca da Costa Moreira

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE – RAMO DE GESTÃO

Desenvolvimento em Ambiente Empresarial

Presidente do Júri: Manuel Afonso Magalhães da Fonseca Almeida
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: Sara Maria dos Santos Rodrigues da Cruz
(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Joaquim Guedes
(Director Técnico da empresa Ecoinside – Soluções em Ecoeficiência e Sustentabilidade, Lta)

Porto, Julho de 2011

Agradecimentos

À Professora Doutora Sara Cruz, orientadora desta tese de mestrado por parte da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, agradeço o acompanhamento de execução do trabalho, principalmente na utilização do *software* ArcGIS®, e sugestões dadas.

Ao Professor Doutor Rui Boaventura, agradeço toda a ajuda prestada, disponibilidade, ideias, partilha de conhecimentos, tempo dispensado e revisão do manuscrito.

Ao Senhor Manuel Guimarães, técnico de informática do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, agradeço toda a ajuda prestada, que foi muita, na manipulação do *software* ArcGIS®, disponibilidade para esclarecimento de dúvidas e tempo dispensado.

Ao Professor Doutor Cheng Chia-Yau, agradeço toda a disponibilidade e importante ajuda.

Ao Professor Doutor José Soeiro de Carvalho, agradeço toda a disponibilidade, boa vontade e ajuda prestada no manuseamento do *software* ArcGIS®.

À Direcção Geral de Veterinária do Norte, agradeço o fornecimento dos dados relativos ao efectivo bovino presente nas explorações pecuárias de todos os concelhos em estudo. Sem esta colaboração o presente trabalho não poderia ter sido realizado.

Às Cooperativas Agrícolas da Póvoa do Varzim e Maia e à Cooperativa dos Agricultores dos Concelhos de Santo Tirso e Trofa, agradeço a cedência dos dados relativos às moradas das explorações pecuárias. A sua colaboração foi imprescindível à elaboração deste trabalho.

À Joana Teixeira, colega de curso e autora de uma tese de mestrado desenvolvida em paralelo a esta, agradeço o fornecimento dos dados relativos aos concelhos de Vila do Conde, Oliveira de Azeméis e Arouca, assim como toda a troca de ideias e amizade.

A todos aqueles que, directa ou indirectamente, me ajudaram na elaboração desta tese de mestrado expresso a minha sincera gratidão.

Resumo

Na Área Metropolitana do Porto verifica-se uma actividade bovinícola leiteira muito acentuada, cujos resíduos gerados carecem de uma gestão controlada e eficiente. A aplicação indevida de estrumes e chorumes nos solos culmina em repercussões ambientais negativas que devem ser mitigadas. Em simultâneo, é necessário dar cumprimento à legislação em vigor, a qual estabelece épocas e quantidades limite de estrumes e chorumes a aplicar nos solos. De entre as diversas tecnologias para a gestão dos resíduos pecuários, a Digestão Anaeróbia surge como uma alternativa particularmente interessante.

O presente trabalho visou a avaliação das viabilidades técnica e económica do tratamento dos resíduos pecuários provenientes das boviniculturas da Área Metropolitana do Porto com recurso à implementação de Centrais de Digestão Anaeróbia. Ao nível da viabilidade técnica pretendeu-se descrever as unidades constituintes das Centrais necessárias ao processo Digestão Anaeróbia dos resíduos afluentes e ao processamento do biogás produzido. Economicamente, foi solicitada uma análise geral dos custos e receitas do projecto. Para dar cumprimento aos objectivos principais do trabalho foi previamente necessário proceder à determinação do número e localização das Centrais de Digestão Anaeróbia a implementar, recorrendo-se para tal ao *software* ArcGIS®.

Determinou-se a implementação de 8 Centrais de Digestão Anaeróbia, cada uma com uma capacidade de tratamento de 200 000 m^3 de resíduos por ano. As principais unidades das Centrais serão: área de recepção e descargas, tanque de recepção, digestores anaeróbios, tanques de pós-digestão, sistema de purificação do biogás, gasómetro, sistema de cogeração e queimador de biogás. O processo de Digestão Anaeróbia ocorrerá em regime termofílico em digestores anaeróbios do tipo perfeitamente agitado, com mistura e aquecimento. O biogás produzido será aproveitado para geração de energia eléctrica e calor, sendo efectuada a venda de electricidade à rede.

O investimento inicial foi estimado em cerca de 48,8 M€. Avaliando-se os custos anuais de operação, manutenção e transporte dos resíduos e as receitas geradas com a venda da energia eléctrica do biogás à rede obteve-se um saldo negativo. Sendo assim, deve ser equacionada a venda de composto orgânico, o recurso a capitais alheios, como é o caso do financiamento do transporte dos resíduos pelos produtores, e a subsídios nacionais e/ou europeus.

Palavras-Chave: Boviniculturas, Centrais de Digestão Anaeróbia, Área Metropolitana do Porto, Viabilidade Técnica, Viabilidade Económica

Abstract

In Oporto Metropolitan Area there is a very strong dairy cattle farming activity whose livestock generated lacks of a controlled and efficient management. The undue application of manure and slurry in soils leads to nasty environmental problems which need to be reduced. Simultaneously, it is necessary carry out with current legislation, which sets periods and quantities of manure and slurry allowable to be applied on land. In the amount of livestock management technologies, Anaerobic Digestion is a particularly attractive choice.

The project's aim was to assess the technical and economic feasibility of Oporto Metropolitan Area dairy cattle farming livestock's using Centralised Anaerobic Digestion plants. The technical feasibility aim was to describe the units belonging to Centralised plants to carry out with Anaerobic Digestion process and biogas production and use. Economically, the intent was to analyze the project's costs and revenues. To perform the project main goals it was necessary to determine the number and location of Centralised Anaerobic Digestion plants, using ArcGIS® software for this purpose.

It was established the implementation of 8 Centralised Anaerobic Digestion plants, each one of them with a capacity of 200 000 m^3 of livestock per year. The main units will be: a reception and discharge area, a receiving tank, anaerobic digesters, post digestion tanks, biogas purification system, gasholder, combined heat and power system and biogas flare. Anaerobic Digestion process will use termophilic temperature and continuous stirred-tank reactors with mixture and heating. The biogas will be used to produce both thermal and electric energy and the electricity will be sold to the electrical grid.

The initial investment was estimated in about 48,8 M€. A combination between the annual operation, maintenance and transport costs and the revenue obtained with the sale of biogas electrical energy to the grid took to a negative income. Therefore, it is necessary to consider the organic compost sale, the use of foreign capital, like the transport costs assured by farmers, and national and/or European financial support.

Key words: Cattle Farming, Centralised Anaerobic Digestion Plants, Oporto Metropolitan Area, Technical Feasibility, Economic Feasibility

Índice

Lista de Tabelas e Figuras

Notação e Glossário

Lista de Siglas

ADENE	Agência para a Energia
ALE	Alentejo
ALG	Algarve
AMP	Área Metropolitana do Porto
BI	Beira Interior
BL	Beira Litoral
BLPEDM	Bacia Leiteira Primária do Entre Douro e Minho
CBO_5	Carência Bioquímica de Oxigénio, após 5 dias
CBPA	Código de Boas Práticas Agrícolas
CDA	Centrais de Digestão Anaeróbia
CE	Comunidade Europeia
CN	Cabeça Normal
DA	Digestão Anaeróbia
DGV	Direcção Geral de Veterinária
DL	Decreto-Lei
DRAEDM	Direcção Regional de Agricultura do Entre Douro e Minho
EDM	Entre Douro e Minho
ENEAPAI	Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA	Estados Unidos da América
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GEE	Gases com Efeito de Estufa
INE	Instituto Nacional de Estatística
MAOTDR	Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
O&M	Operação e Manutenção
PDM	Plano Director Municipal
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PVC	Policloreto de Vinilo
RAN	Reserva Agrícola Nacional
REAP	Regime do Exercício da Actividade Pecuária
REN	Reserva Ecológica Nacional
RO	Ribatejo e Oeste
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TM	Trás-os-Montes
TRH	Tempo de Retenção Hidráulico
TRS	Tempo de Retenção dos Sólidos
US EPA	*United States Environmental Protection Agency*

Unidades

d	Dia
h	Hora
ha	Hectare
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
mm	Milímetro
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
t	Tonelada

Símbolos

C	Carbono
M€	Milhões de euros
N	Azoto
N_{disp}	Azoto disponível
N_t	Azoto total
P	Fósforo
K	Potássio
R^2	Coeficiente de correlação
€	Euro

Fórmulas Químicas

CH_3COOH	Ácido acético
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
H_2O	Água
H_2S	Sulfureto de hidrogénio
K_2O	Óxido de potássio
N_2	Azoto
NH_3	Amoníaco
P_2O_5	Anidrido fosfórico

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

As práticas actuais de tratamento e destino final dos resíduos pecuários carecem de uma gestão controlada e mais eficiente, que proporcione um enquadramento da actividade pecuária no meio envolvente, quer em termos ambientais e agrícolas, quer em termos económicos e sociais. A produção de odores desagradáveis, a poluição dos cursos de água e a contaminação de solos e aquíferos são alguns dos principais problemas causados pela má gestão dos resíduos pecuários e que determinam a necessidade de implementação de soluções para a sua gestão. Nas explorações pecuárias produzem-se essencialmente três tipos de resíduos: os chorumes e estrumes, as águas sujas e as escorrências de silagem. O destino final dos chorumes, definidos como uma mistura de fezes, urina e água, com quantidades diminutas de restos de rações e material usado nas camas dos animais (palhas e/ou fenos) (Bicudo e Ribeiro, 1996a; MADRP, 1997), constitui geralmente um problema quer para os produtores quer para o meio ambiente, embora estes possam ser utilizados como um fertilizante orgânico natural. Os produtores têm dificuldades no seu armazenamento e evacuação, acabando por proceder a um armazenamento inapropriado e aplicação de quantidades excessivas nos solos. Não cumprem, assim, a legislação em vigor em Portugal relativa à gestão dos diferentes resíduos pecuários, a qual tem por base o Regime do Exercício da Actividade Pecuária (REAP) e determina as doses e épocas de aplicação adequadas e também cuidados específicos e rigorosos a tomar.

São várias as opções para a gestão dos resíduos pecuários com vista à melhoraria das suas características de armazenamento e transporte, redução do seu potencial poluente e/ou valorização, nomeadamente a separação mecânica, arejamento dos efluentes líquidos, compostagem, digestão anaeróbia (DA), evaporação e secagem, tratamento térmico, aplicação de aditivos para redução de odores, entre outros (Portaria nº 631/2009).

De entre as diversas alternativas para a gestão dos resíduos pecuários, a DA surge como uma alternativa particularmente interessante. Os processos anaeróbios possibilitam a valorização energética dos resíduos orgânicos, na medida em que levam à produção de biogás, o qual pode ser utilizado como fonte de energia, evitando custos ambientais associados às fontes de energia fóssil. A energia do biogás é geralmente utilizada na produção combinada de calor e electricidade (cogeração) ou na produção singular de calor ou electricidade. O calor pode ser usado no aquecimento do próprio processo de digestão e/ou no aquecimento de indústrias/habitações próximas. A electricidade pode ser usada na própria instalação e/ou ser vendida à rede. A DA possibilita também a valorização/reciclagem dos

nutrientes contidos nos resíduos, uma vez que culmina na produção de um produto digerido que pode ser facilmente utilizado como fertilizante/condicionante agrícola, quer directamente por espalhamento no solo, quer após separação mecânica de fases, a qual dá origem a um produto sólido, vulgarmente designado por fibra, e a um líquido clarificado. A fibra pode ser sujeita a compostagem, obtendo-se um produto estabilizado (composto orgânico) que pode ser comercializado.

Na Europa predomina a utilização de sistemas individuais de DA no tratamento dos resíduos pecuários, ou seja, sistemas que se destinam ao tratamento dos resíduos gerados por uma única unidade produtora e se localizam no próprio lugar de produção. A Alemanha é o país com maior aplicação destes sistemas, apresentando mais de 3 000 unidades. A sua aplicação também é elevada na Áustria, Portugal, Suíça, Itália e Dinamarca (Birkmose et al., 2007; AD-Nett, 2005; AEAT, 2005; Gomez e Guest, 2004). Em Portugal, existiam em 2005 cerca de 100 sistemas individuais de DA, dos quais 71 se destinavam ao tratamento de resíduos de suiniculturas, 8 de resíduos provenientes de aviculturas e 5 de boviniculturas (AD-Nett, 2005; Berardino, 2009). Uma percentagem alta destes sistemas recorre à utilização de digestores anaeróbios rústicos e de operação simples, a operarem a cerca de 20 ^{o}C (Bicudo e Ribeiro, 1996b).

Os sistemas centralizados de DA, também designados por Centrais de Digestão Anaeróbia (CDA), são locais onde se procede à digestão dos resíduos orgânicos de uma dada região, essencialmente provenientes de explorações pecuárias mas havendo a possibilidade de realizar uma co-digestão, por exemplo, com resíduos industriais e lamas de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETARs). As CDA são muito utilizadas na Dinamarca, onde existem 20 unidades deste tipo, e a tendência é para a sua aplicação crescente (AEAT, 2005). Esta tendência deve-se à sua maior viabilidade económica e às dificuldades encontradas pelos produtores na operação dos sistemas individuais de DA (Durão, 2009; Bicudo e Ribeiro, 1996b). Em Portugal ainda não foi implementada nenhuma CDA para tratamento dos resíduos pecuários.

Na Área Metropolitana do Porto (AMP) verifica-se uma actividade bovinícola acentuada, centrada particularmente na produção de leite. Os resíduos pecuários provenientes das boviniculturas representam um grave problema, havendo necessidade de implementar soluções para a sua correcta gestão. Muitas das instalações pecuárias não estão providas com tanques de armazenamento dos resíduos que permitam a sua acumulação pelo tempo necessário de modo a dar cumprimento às épocas apropriadas para a sua aplicação e quantidades limite, de acordo com a legislação em vigor. Neste âmbito, a Junta Metropolitana do Porto lançou a concurso um projecto cujo objectivo era encontrar soluções para a gestão dos resíduos pecuários da AMP. A empresa Ecoinside, em cooperação com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), mostraram interesse nesse assunto e, assim, surgiu esta tese de mestrado.

O presente projecto tem por objectivos principais a avaliação das viabilidades técnica e económica do tratamento dos resíduos pecuários provenientes das boviniculturas da AMP com recurso à implementação de CDA. Foi inicialmente proposta a análise dos concelhos de Vila do Conde, Póvoa do Varzim, Maia, Trofa e Arouca, mas acabou-se por ir mais longe e incluir também os concelhos de Oliveira de Azeméis e Santo Tirso. À excepção de Santo Tirso[1], os restantes seis concelhos referidos são aqueles que apresentam maior efectivo bovino, compreendendo 84% do efectivo bovino total da AMP (juntamente com Santo Tirso tem-se 87% do efectivo bovino total) (INE, 2009c).

Na análise à viabilidade técnica pretende-se obter uma descrição das principais unidades do processo de DA relacionadas com a digestão dos resíduos e gestão do biogás: área de recepção e descarga, tanque de recepção, digestores anaeróbios, tanques de pós-digestão, sistema de purificação do biogás, gasómetro, sistema de co-geração e queimador de biogás. Será também abordado o transporte dos resíduos desde as boviniculturas até às CDA. Fica fora do âmbito de estudo a análise da gestão do produto digerido e dimensionamento de uma CDA. De modo a avaliar as unidades de gestão do biogás foi necessário avaliar a produção de biogás, sendo esta também um objectivo do presente trabalho.

Economicamente, pretende-se dar uma noção dos custos do projecto (investimento inicial, custos de operação e manutenção (O&M) e custos de transporte) e das receitas associadas à venda da energia eléctrica produzida a partir do biogás gerado.

De modo a ser possível a análise das viabilidades técnica e económica das CDA, foi necessário proceder ao cumprimento de outros objectivos prévios, nomeadamente: o levantamento dos dados relativos às boviniculturas dos concelhos em estudo e realização de uma georeferenciação das mesmas; a caracterização da bovinicultura na área em estudo e determinação dos resíduos pecuários produzidos; e a determinação do número e da localização das CDA a implementar. A determinação do número e localização das CDA culminou num trabalho exaustivo e considera-se a sua execução de grande importância, na medida em que apresenta uma possível metodologia a seguir na execução de uma análise deste tipo.

[1] O concelho de Santo Tirso foi incluído no estudo devido ao facto de terem sido fornecidos dados relativos a este concelho aquando da cedência de dados do concelho da Trofa por parte da Cooperativa dos Agricultores dos Concelhos de Santo Tirso e Trofa.

1.2 Apresentação da Empresa

A Ecoinside – Soluções em Ecoeficiência e Sustentabilidade, Lda dedica-se integralmente às questões da ecoeficiência e da sustentabilidade ambiental. É a primeira "spin off" do 1 º Curso de Empreendedorismo da Universidade do Porto, da responsabilidade da Escola de Gestão do Porto, sendo fortemente acarinhada por estas duas instituições.

A actividade principal da Ecoinside consiste na prestação de serviços personalizados às empresas de todos os ramos de actividade, desde o comércio e serviços, até à indústria extractiva, produtora ou transformadora. Através das mais inovadoras tecnologias e produtos nas áreas da ecoeficiência empresarial e da sustentabilidade ambiental, proporciona significativas reduções de custos fixos, ao mesmo tempo que reduz o impacte ambiental provocado. Destacam-se nas suas competências específicas: a redução e racionalização dos consumos com a energia (iluminação, aquecimento/arrefecimento ou funcionamento), a optimização dos consumos de água, a redução das emissões gasosas, nomeadamente de gases que contribuem para o aquecimento global e gases depletores da camada do ozono e, ainda, a gestão e valorização dos desperdícios e resíduos produzidos.

1.3 Organização da Tese

No Capítulo 2, Contexto e Estado da Arte, serão dados a conhecer os estudos realizados em Portugal no âmbito da caracterização dos resíduos pecuários produzidos e dos problemas ambientais a estes associados, e também os trabalhos já realizados ao nível da aplicação da DA ao tratamento destes resíduos. No Capítulo 3 será realizado o enquadramento legislativo aplicado ao presente tema, podendo-se destacar a abordagem dos limites de aplicação de estrumes e chorumes no solo e da aplicação da DA ao tratamento de resíduos pecuários. Posteriormente, será caracterizado o sector pecuário em Portugal, Capítulo 4, destacando-se a caracterização da bovinicultura e dos resíduos por esta actividade produzidos. No Capítulo 5 abordar-se-á a DA, incluindo o processo de digestão e com destaque para a caracterização dos sistemas centralizados de DA, onde será realizada uma análise o mais detalhada possível aos sistemas já implementados a nível europeu. No Capítulo 6 caracterizar-se-á a bovinicultura da área em estudo e, consequentemente, os resíduos gerados, e aplicar-se-á uma metodologia para a determinação do número de localização de CDA a implementar. Nos Capítulos 7 e 8 serão executadas análises às viabilidades técnica e económica, respectivamente. Por fim, no Capítulo 9 retirar-se-ão as principais ilações do trabalho e apresentar-se-ão as suas limitações e perspectivas futuras.

2 Contexto e Estado da Arte

Os problemas ambientais decorrentes dos efluentes gerados pelas actividades agro-pecuárias e agro-industriais já vêm a ser notados há longa data e levaram ao desenvolvimento de uma estratégia nacional para a sua gestão. Assim, surgiu a Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais (ENEAPAI), publicada em 2007 pelo Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (MAOTDR). Esta estratégia caracteriza a situação actual das actividades agro-pecuárias e agro-industriais, incluindo a bovinicultura, e procede à identificação de zonas com maior pressão e à definição de núcleos de acção prioritária. Na bovinicultura, os concelhos de Vila do Conde, Póvoa do Varzim, Santo Tirso e Maia encontram-se incluídos num núcleo de acção prioritária e, por sua vez, os concelhos de Oliveira de Azeméis e Arouca estão presentes num outro núcleo de acção prioritária. De modo a melhorar a situação corrente, é apresentada uma série de medidas a implementar, entre as quais se incluem soluções técnicas de tratamento dos resíduos que potenciem a produção de energias renováveis e contribuam para a integração regional, sendo a aplicação de CDA uma solução possível.

No que diz respeito mais especificamente aos problemas ambientais da actividade leiteira, a Direcção Regional de Agricultura do Entre Douro e Minho (DRAEDM) publicou em 2007 o Plano de Ordenamento da Bacia Leiteira Primária do Entre Douro e Minho (BLPEDM). A BLPEDM insere-se nas regiões do Entre Douro e Minho (EDM) e Beira Litoral (BL) e é constituída por um conjunto de 11 concelhos, a saber: Viana do Castelo, Barcelos, Esposende, Póvoa de Varzim, Vila Nova de Famalicão, Vila do Conde, Santo Tirso, Trofa, Maia, Matosinhos e Oliveira de Azeméis, compreendendo uma área aproximada de 158 000 ha. À excepção de Arouca, todos os concelhos em estudo inserem-se na BLPEDM. Este Plano apresenta uma série de medidas e acções a adoptar no sentido de solucionar os problemas decorrentes da actividade leiteira nesta região. Uma das medidas propostas é a implementação de equipamentos e sistemas de tratamento e valorização de resíduos e efluentes e uma das acções a tomar no âmbito desta medida é a valorização energética de resíduos orgânicos por co-digestão anaeróbia em sistemas colectivos. Esta aplicação permitirá obter um gás combustível (biogás), o qual é um recurso energético renovável, com um importante valor económico associado, podendo ser utilizado para aquecimento ou produção de energia eléctrica.

Relativamente a projectos referentes à avaliação da viabilidade técnica e económica de CDA a nível nacional, não há praticamente estudos nesse âmbito. A Agência para a Energia (ADENE) realizou em 2003 um estudo para a Câmara Municipal de Montemor-o-Novo cujo tema foi “Estudo de Viabilidade do Tratamento Centralizado de Resíduos Agro-Pecuários no Concelho de Montemor-o-Novo”. Neste estudo

fez-se em primeiro lugar o levantamento e caracterização de todos os resíduos orgânicos gerados no concelho de Montemor-o-Novo: resíduos pecuários, resíduos industriais/agrícolas (por exemplo, resíduos de indústrias alimentares como indústria de processamento de arroz e panificadoras, de um matadouro, de destilarias, entre outros) e lamas de ETARs. De modo a se implementar um sistema que apresentasse ser o mais tecnicamente, economicamente e socialmente viável, procedeu-se à avaliação de vários cenários, os quais tiveram por base os seguintes critérios e pressupostos: localização das CDA, raio de acção das unidades de transporte de resíduos, tipo de resíduos a integrar nas CDA, venda a terceiros do calor excedente, separação de sólidos, venda a granel da fracção sólida separada, compostagem do material sólidos separado, embalagem do composto, tratamento complementar da fracção líquida, armazenamento final do produto digerido, entre outros. A sua avaliação foi feita de acordo com a viabilidade financeira, expressa em termos do período de retorno do investimento (PRI), da taxa interna de rentabilidade (TIR) e do balanço financeiro anual.

No ano passado, no mesmo âmbito da presente tese, foi elaborada uma tese de mestrado pela agora Mestre Catarina Gonçalves intitulada "Avaliação do Potencial de Geração de Biogás a partir de Resíduos de Bovinicultura na Área Metropolitana do Porto". Esta dissertação teve como principal objectivo fazer uma avaliação do potencial de geração de biogás nas bovinicultura da AMP através de um levantamento do número de bovinos existente nessa área. Concluiu-se que os concelhos com maior potencial de geração de biogás eram Vila de Conde, Póvoa do Varzim, Trofa, Maia, Matosinhos, Arouca e Oliveira de Azeméis. Avaliou-se também a implementação de digestores anaeróbios individuais e centralizados. Apenas foi identificada uma exploração nos concelhos da AMP cujo número de bovinos justificava a implementação de um sistema individual (implementação viável acima de 500 animais). Quanto à implementação de instalações centralizadas, devido à indisponibilidade de dados, este estudo apenas abordou o concelho da Póvoa de Varzim. Com o auxílio do programa *Spatial Analysis* do ArcGIS®, foram elaborados vários mapas que permitiram a localização das zonas com um maior número de animais e, assim, ter uma ideia do melhor local para a implementação de CDA.

3 Enquadramento Legislativo

Tendo em conta o âmbito e os objectivos do presente trabalho, é possível dividir a legislação aplicável nos seguintes principais domínios: gestão, em termos gerais, dos diferentes resíduos pecuários; limites de aplicação dos efluentes pecuários no solo; e DA aplicada ao tratamento dos resíduos pecuários.

- **Gestão dos resíduos pecuários**

Em Portugal, a legislação relativa à gestão dos diferentes resíduos pecuários tem por base o **REAP**, aprovado pelo **Decreto-Lei (DL) nº 214/2008**, de 10 de Novembro. O DL nº 214/2008, para além de garantir o respeito pelas normas de bem-estar animal, a defesa higio-sanitária dos efectivos, a salvaguarda da saúde, a segurança de pessoas e bens, a qualidade do ambiente e o ordenamento do território, estabelece, em complemento ao DL nº 122/2006, de 27 de Junho, o regime a aplicar às actividades de gestão, por valorização ou eliminação, dos efluentes pecuários, incluindo as unidades de produção de biogás.

Da legislação aplicável no âmbito do REAP, destaca-se a **Portaria nº 631/2009**, de 9 de Junho, a qual estabelece as normas regulamentares a que obedece a gestão dos efluentes das actividades pecuárias e também as normas técnicas a observar no âmbito do licenciamento das actividades de transformação dos efluentes pecuários, tendo em vista promover as condições adequadas de produção, recolha, armazenamento, transporte, valorização e destino final. Relativamente ao encaminhamento, tratamento e destino final dos resíduos, esta Portaria determina que tal deve ser assegurado pelos seguintes procedimentos: utilização própria dos resíduos ou transferência para terceiros para efeitos de valorização agrícola; tratamento e descarga nas massas de água ou aplicação no solo, nos termos do regime de utilização dos recursos hídricos; tratamento numa unidade técnica de efluentes pecuários, numa unidade de produção de fertilizantes orgânicos ou numa unidade de transformação de subprodutos animais, nos termos do **Regulamento (CE) nº 1774/2002**, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 3 de Outubro; tratamento em unidade de compostagem ou de produção de biogás, nos termos da presente Portaria ou no âmbito do regime geral de gestão de resíduos, aprovado pelo DL nº 178/2006, de 5 de Setembro; tratamento em unidade de tratamento térmico ou de produção de energia ou de materiais, com ou sem recuperação de energia térmica gerada pela combustão. Esta Portaria remete para o **Código de Boas Práticas Agrícolas (CBPA)** (MADRP, 1997) e defende que as explorações pecuárias devem promover a aplicação das orientações previstas neste documento. O CBPA resulta da aplicação do DL nº 194/2000, de 21 de Agosto, o qual transpõe para ordem jurídica interna a Directiva nº 96/61/CE, e tem como objectivo fundamental auxiliar os agricultores e os técnicos para a

racionalização da prática da fertilização e de todo um conjunto de práticas culturais que podem interferir na dinâmica de azoto no ecossistema, diminuindo assim o seu efeito poluidor. As medidas descritas no CBPA são de aplicação facultativa, excepto nas zonas vulneráveis, que têm carácter obrigatório.

- **Limites de aplicação dos efluentes pecuários no solo**

Por imposição do **DL nº 202/2005**, de 24 de Novembro, todas as explorações que procedam à valorização agrícola dos efluentes pecuários como fertilizantes ou correctivos orgânicos, assim como as explorações intensivas e as semi-extensivas, são obrigadas a implementar um Plano de Gestão de Efluentes. A gestão dos efluentes poderá não ser efectuada exclusivamente na exploração, podendo haver contratação com entidades públicas, privadas ou de associações de produtores. No anexo IV do DL são estabelecidas normas quanto à aplicação dos efluentes no solo e à sua quantidade limite. Relativamente à aplicação dos efluentes no solo, tem-se que:

- A aplicação dos efluentes usados para a fertirrigação dos solos fica condicionada: nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro; em solos inundados ou inundáveis; e em solos declivosos, por classe de declive, de acordo com o CBPA;

- Não é permitida a aplicação de efluentes nas margens das linhas de água e junto das captações de água para consumo humano;

- É obrigatória a utilização de adjuvantes antiodor (aditivos) em distribuições de chorume a distâncias inferiores a 70 m de habitações de terceiros;

- É obrigatória a incorporação no solo dos efluentes até 24 horas após a sua aplicação com excepção de: aplicação em sementeiras directas em que se deve preceder a rega ou aplicação por injecção no solo, aplicação em cobertura nos meses de Fevereiro e Março, cobertura de Abril a Outubro devendo proceder-se a rega.

As quantidades limite de aplicação de efluentes com uma composição de 2,8 kg de azoto/m^3 ao solo encontram-se definidas na Tabela 1. Os valores apresentados dependem do tipo de uso do solo, da área onde se pretende efectuar a aplicação e da tecnologia de tratamento dos efluentes.

Tabela 1. Quantidades limite de aplicação de efluentes ao solo (adaptado de: DL nº 202/2005)

	Quantidades máximas de estrumes ou chorumes a aplicar no solo (m^3/ha/ano)	
	Sem separação de fracções	**Com separação de fracções**
Solo com duas culturas por ano	120	140
Solo com uma cultura de regadio/ano	90	110
Solo com uma cultura de sequeiro/ano	40	50
Solo florestal e terrenos não cultivados	20	-

O conteúdo do CBPA (MADRP (1997)) a este respeito também pode ser analisado. Declara que nas zonas vulneráveis não são permitidas aplicações superiores aos valores determinados pelas Portarias respectivas e nas restantes áreas agrícolas, embora de carácter facultativo, as quantidades devem ser inferiores a 170 kg de azoto total/ha/ano.

- **Digestão anaeróbia aplicada ao tratamento dos resíduos pecuários**

O **Regulamento (CE) nº 1774/2002**, de 3 de Outubro, estabelece as regras sanitárias relativas à recolha, transporte, armazenagem, manuseamento, transformação e utilização ou eliminação dos subprodutos animais não destinados ao consumo humano e também respeitantes à colocação no mercado de subprodutos animais e de produtos deles derivados. O chorume e conteúdo do aparelho digestivo estão incluídos nas matérias de categoria 2.

No anexo V, capítulo I, estão presentes os requisitos gerais aplicáveis às unidades de transformação, podendo-se destacar: a necessidade de existência de um local coberto para a recepção dos resíduos, de existência de capacidade de produção de água quente e vapor suficientes para a transformação dos resíduos, de transformação assim que possível após a chegada.

No anexo VIII, capítulo III, são definidos os requisitos aplicáveis à colocação no mercado de chorume, chorume transformado e produtos transformados derivados de chorume. Relativamente ao chorume não transformado, só é permitido o seu comércio (à excepção do chorume proveniente de aves de capoeira ou de equídeos, ao qual se aplicam outras condições) se for originário de uma de uma zona não submetida a restrições devidas a uma doença transmissível grave e que seja destinado a ser aplicado na própria exploração. A concessão de uma aprovação específica pode permitir o comércio de chorume destinado a ser aplicado numa qualquer exploração e a transformação deste efluente numa unidade técnica, numa unidade de biogás ou numa unidade de compostagem. No que diz respeito ao chorume transformado e produtos transformados à base de chorume, para serem colocados no mercado devem obedecer às seguintes condições: serem provenientes de uma unidade técnica, de uma unidade de biogás ou de uma unidade de compostagem aprovada pela autoridade competente em conformidade com o presente regulamento; terem sido submetidos a um processo de tratamento térmico em que alcancem, pelo menos, 70 °C durante um mínimo de 60 minutos; e devem ter sido submetidos a uma redução das bactérias formadoras de esporos e da toxicidade. O processo de transformação previsto deve ser validado, mediante a medição da redução de viabilidade/infecciosidade de organismos indicadores endógenos durante o processo.

4 O Sector Pecuário em Portugal

4.1 Aspectos Gerais

A actividade pecuária divide-se em diversas categorias de acordo com o tipo de animais a que se dedica, destacando-se em Portugal a criação de bovinos (bovinicultura), de suínos (suinicultura), de ovinos (ovinicultura), de caprinos (caprinicultura), de equídeos (equinicultura), de aves (avicultura) e de coelhos (cunicultura). Em 2009, contabilizou-se um total de cerca de 432 mil explorações pecuárias dos tipos acima referidos e um total de cerca de 42 480 cabeças. Do total de explorações pecuárias, 12% destas a nível nacional eram boviniculturas, 12% suiniculturas, 12% oviniculturas, 8% capriniculturas, 6% equiniculturas, 37% aviculturas e 14% cuniculturas (INE, 2011).

4.2 Caracterização da Bovinicultura

Ir-se-á proceder a uma análise da bovinicultura a nível nacional, discriminada por regiões. Em primeiro lugar, será efectuada uma análise relativa ao tipo de produção, efectivo bovino, número de explorações, dimensão média das explorações e tendência de desenvolvimento. Relativamente às características particulares das boviniculturas, podem ser avaliados os seguintes parâmetros: sistema de exploração (extensivo ou intensivo), tipo de instalação, sistema de limpeza das instalações (manual, mecânico ou hidráulico) e sua frequência, entre outros.

A Tabela 2 resume a caracterização da bovinicultura em Portugal. As classificações apresentadas em termos qualitativos são subjectivas e foram realizadas com o intuito de dar uma melhor percepção da informação. Uma análise mais detalhada da informação contida na tabela, apoiada em dados estatísticos, será efectuada de seguida.

- **Tipo de produção**

Em Portugal, a bovinicultura tem como objectivos principais a produção de leite e/ou a produção de carne. Enquanto nas regiões do Alentejo, Ribatejo e Oeste, Algarve, Beira Interior, Trás-os-Montes e Madeira a produção é quase exclusivamente dirigida para a produção de carne; as regiões de EDM, BL e Açores são predominantemente leiteiras e detêm, no seu conjunto, mais de 75% do efectivo leiteiro nacional (EDM: 33%, BL: 12% e Açores: 33%) (INE, 2011).

Tabela 2. Resumo da caracterização da bovinicultura em Portugal, por região (adaptado de: INE, 2011; DRAEDM et al., 2007)

	Tipo de produção	Efectivo bovino	Nº de explorações	Dimensão média (cabeças/exploração)	Tendência de desenvolvimento	Sistema de exploração	Tipo de instalação	Sistema de limpeza	Frequência de limpeza
EDM	Leite	Elevado	Muito elevado	Pequena	↓ efectivo ↓ explorações	Maioritariamente intensivo	Livre - chorume	Manual/arrastamento hidráulico	Diária
TM	Carne	Baixo	Médio	Pequena	↓ efectivo ↓ explorações	Extensivo	Livre - estrume	n.d.	n.d.
BL	Leite	Baixo	Elevado	Pequena	↓ efectivo ↓ explorações	Extensivo	Livre - chorume/estrume Presa - estrume	Manual/arrastamento hidráulico	Diária
BI	Carne	Baixo	Baixo	Média	↑ efectivo ↓ explorações	Exclusivamente extensivo	Livre - estrume	n.d.	n.d.
RO	Carne	Médio	Baixo	Grande	↓ efectivo ↓ explorações	Maioritariamente extensivo	Livre – estrume	n.d.	n.d.
ALE	Carne	Muito elevado	Baixo	Muito grande	↑ efectivo ↓ explorações	Exclusivamente extensivo	Livre - estrume	n.d.	n.d.
ALG	Carne	Muito baixo	Muito baixo	Média	↓ efectivo ↓ explorações	Exclusivamente extensivo	Livre – estrume	n.d.	n.d.
Açores	Leite	Elevado	Elevado	Média	↑ efectivo ↓ explorações	Exclusivamente extensivo	Livre – estrume	n.d.	n.d.
Madeira	Carne	Muito baixo	Muito baixo	Muito pequena	↑ efectivo ↓ explorações	Exclusivamente extensivo	Livre - estrume	n.d.	n.d.

n.d. – não definido

O tipo de produção, em conjunto com o sexo, idade e fim a que de destinam define a nomenclatura dos bovinos (Anexo 1).

- **Efectivo bovino, número de explorações e dimensão média das explorações**

Relativamente ao número de efectivos, a produção bovina tem maior expressão no ALE, que conta com 39% do efectivo nacional, seguindo-se as regiões de EDM (18%) e os Açores (17%). No que respeita ao número de explorações, a região de EDM apresenta o maior número de boviniculturas, o que corresponde a 39% do total de boviniculturas a nível nacional, seguindo-se as regiões da BL e dos Açores, cada uma com 16% do total de explorações (INE, 2011).

A dimensão média das explorações é variável. No ALE e o RO predominam explorações de grandes dimensões (138 e 66 cabeças por exploração, respectivamente). Em contraste, na Madeira prevalecem as pequenas explorações (5 cabeças/exploração). As regiões do EDM e BL, apesar de apresentarem os maiores números de explorações de bovinos a nível nacional, apresentam explorações de pequena dimensão (dimensão média de 13 e 11 cabeças/exploração, respectivamente).

No Anexo 2 apresentam-se diagramas do efectivo bovino, número de explorações e dimensão média das explorações, por região.

- **Tendência de desenvolvimento**

As estatísticas nacionais indicam que o número de bovinos tem-se mantido constante, enquanto o número de boviniculturas tem diminuído consideravelmente, principalmente as dedicadas à produção de leite. Embora muitas explorações tenham desaparecido, a sua dimensão tem aumentado e têm sido implementados equipamentos tecnológicos mais avançados. Mesmo com o encerramento de uma grande parte das explorações de leite, a produção de leite não foi afectada, resultado do aumento de produtividade do sector, em grande parte devido ao investimento em tecnologia e ao melhoramento genético do efectivo leiteiro (INE, 2011).

Contemplando os dados estatísticos, entre 1999 e 2009 o efectivo bovino sofreu mesmo um ligeiro acréscimo de 1%, enquanto o número de boviniculturas diminuiu em 51%. Embora o efectivo bovino apresente uma redução em quase todas as regiões, no ALE registou-se um aumento de 42% do efectivo bovino, e este também se verificou nas regiões da BI (+12%), Açores (+4%) e Madeira (+3%). Deste modo, o efectivo bovino total não se ressentiu. Os decréscimos verificados ocorreram principalmente ao nível das vacas leiteiras, levando ao desaparecimento de 22% das vacas, e foram particularmente acentuados na BL e no EDM (-45% e -19% das vacas leiteiras, respectivamente). Relativamente às

explorações, verificou-se em todas as regiões uma forte diminuição do seu número, sendo, no entanto, esta diminuição menos acentuada no ALE e nos Açores (INE, 2011).

No Anexo 3 ilustra-se esta variação do número de explorações e cabeças (efectivo bovino), por região.

- **Sistema de exploração**

O sistema de exploração pode ser classificado em extensivo ou intensivo. A produção pecuária extensiva desenvolve-se em grandes extensões de terra, os animais vivem soltos e alimentam-se no pasto, geralmente não há a aplicação de grandes recursos tecnológicos nem de investimentos financeiros e recursos veterinários importantes. Esta prática origina uma baixa produção de leite e/ou carne. Em contraste, a produção pecuária intensiva desenvolve-se em pequenas áreas, com recurso ao confinamento dos animais, a alimentação é baseada em ração, utilizam-se recursos tecnológicos avançados e, logo, são necessários investimentos financeiros consideráveis, e recorre-se a recursos veterinários avançados. Nesta prática são alcançados elevados índices de produtividade.

Uma análise à presença/ausência de estabulação, isto é, o sistema em que os animais estão confinados a um determinado espaço físico (instalação) de forma permanente ou temporária, permite avaliar a utilização de sistemas extensivos ou intensivos, na medida em que os sistemas intensivos se caracterizam por apresentar os animais confinados, isto é, estabulados. A estabulação de bovinos é mais expressiva no EDM, onde 80% do efectivo bovino se encontra estabulado, o correspondente a 22% das explorações, e na BL, onde 76% dos bovinos se encontra estabulado, o equivalente a 19% das explorações. Sendo assim, estas duas regiões são as que concentram os sistemas mais intensivos de produção de bovinos. Pelo contrário, a expressão da estabulação é mínima na BI, ALE, ALG, Açores e Madeira, pelo que se pratica a utilização quase exclusiva de sistemas extensivos nestas regiões (INE, 2011).

- **Tipo de instalação**

Relativamente ao tipo de instalação, a estabulação dos bovinos pode ser presa, se os animais tiverem os movimentos muito condicionados, encontrando-se permanentemente restringidos a um espaço físico individual; ou livre, quando os animais podem circular na instalação, pela área a eles destinada, não se encontrando confinados a lugares individuais (INE, 2011). Pode ser também classificada relativamente ao tipo de resíduo produzido em: estabulação com produção predominantemente de estrume, na qual o pavimento se encontra coberto por material de cama (palha, serradura, aparas de madeira ou outros) misturado com fezes e urina dos animais; e estabulação com produção predominante de chorume, onde

se produzem efluentes pecuários de consistência fluida a pastosa, necessitando de estruturas de armazenamento capazes de conter as escorrências (tanques ou lagoas) (INE, 2011).

Analisando a combinação da estabulação livre/presa com a estabulação com produção de chorume/estrume, verifica-se que na região do EDM é predominante a estabulação livre com produção de chorume (55% dos bovinos estabulados), seguindo-se a estabulação livre com produção de estrume (19% do efectivo) (predominância de estabulação livre). Na BL coexistem três tipos de estabulação: estabulação livre com produção de estrume (41% do efectivo), estabulação presa com produção de estrume (31% do efectivo) e estabulação livre com produção de chorume (22% do efectivo). Nas restantes regiões a estabulação livre com produção de estrume é claramente dominante (INE, 2011).

O estudo levado a cabo pela DRAEDM et al. (2007) confirma que a estabulação utilizada nas explorações destinadas à produção de leite, nomeadamente nas pertencentes à BLPEDM (a BLPEDM engloba a grande parte do EDM e a parte norte da BL), é a estabulação livre (cerca de 75% das fêmeas, vacas leiteiras e secas e novilhas, são sujeitas a este tipo de estabulação). Destaca-se a estabulação livre com cubículos com cerca de 47% das vacas (leiteiras e secas) e 21% das novilhas. A estabulação presa ainda tem uma expressão importante, sendo utilizado por aproximadamente 23% das fêmeas (DRAEDM et al., 2007).

No Anexo 4 apresenta-se a distribuição das explorações por tipo de estabulação ao longo de Portugal.

- **Sistema de limpeza e frequência de limpeza**

Relativamente ao sistema de limpeza das instalações, na BLPEDM, 43% das explorações removem os chorumes/estrumes presentes nos alojamentos dos animais manualmente, 18% efectua remoção mecânica com pás de tractor e 15% remove os chorumes/estrumes mecanicamente com pá de arrasto. Nas salas de leite e de ordenha o sistema mais utilizado (cerca de 85% das explorações) é a água de pressão (arrastamento hidráulico) (DRAEDM et al., 2007).

Tem-se aproximadamente 78% das explorações a realizar a limpeza do alojamento dos animais diariamente e 16% realizam-na semanalmente. Nas salas de ordenha, em 99% das explorações a limpeza é feita diariamente e nas áreas de maternidade e enfermaria a limpeza é geralmente realizada semanalmente, o que se justifica dada a menor utilização destas áreas (DRAEDM et al., 2007).

4.3 Caracterização dos Resíduos da Bovinicultura

As boviniculturas produzem essencialmente três tipos de resíduos: os chorumes e estrumes, as águas sujas (águas de lavagem e águas pluviais) e as escorrências de silagem (também designadas de águas lixiviantes) (Bicudo e Ribeiro, 1996a; MADRP, 1997).

As quantidades e características dos resíduos pecuários variam de acordo com a actividade pecuária e dentro da mesma actividade pecuária estes parâmetros também variam, nomeadamente com: as características dos animais, o sistema de exploração, o tipo de instalação, o sistema de limpeza das instalações, a quantidade de água utilizada nas operações de lavagem, o regime de precipitação da região (no caso de instalações descobertas), a quantidade e natureza do material utilizado nas camas, o regime alimentar dos animais, entre outros factores (MADRP, 1997; Bicudo e Ribeiro, 1996a).

Para cada tipo de resíduo produzido nas boviniculturas, será feita uma caracterização das quantidades produzidas, composição, utilização e potencial de poluição.

4.3.1 Chorumes e Estrumes

Os chorumes são definidos como uma mistura de fezes, urina e água, com quantidades diminutas de restos de rações e material usado nas camas dos animais (palhas e/ou fenos) (Bicudo e Ribeiro, 1996a; MADRP, 1997). Por sua vez, os estrumes definem-se como sendo uma mistura de fezes, urina e quantidades significativas de material usado nas camas dos animais (Bicudo e Ribeiro, 1996a). A Tabela 3 caracteriza os chorumes e estrumes quanto às quantidades geradas, composição, utilização e potencial de poluição.

Tabela 3. Caracterização dos chorumes e estrumes

Chorumes e Estrumes	
Quantidades	As quantidades de chorumes e estrumes produzidos anualmente nas explorações por unidade animal dependem sobretudo das características dos animais e dos sistemas de exploração (MADRP, 1997). Na Tabela 4 apresentam-se as quantidades de estrume, em t, e de chorume, em m^3, produzidas pelas várias classes de bovinos. Os valores são referentes a uma produção média relativamente ao sistema de exploração (extensivo ou intensivo). No Anexo 5 apresentam-se as considerações referentes aos valores apresentados. Destaca-se o facto de se estarem a considerar quantidades de chorume correspondentes a chorume não diluído, isto é, exclusivamente aos dejectos totais, excluindo a adição de águas de lavagem ou pluviais.
Composição	Os chorumes e estrumes apresentam uma elevada carga orgânica e são ricos em nutrientes, principalmente em azoto (N), fósforo (P) e potássio (K), o que lhes confere boas características para serem utilizados como correctivos ou fertilizantes orgânicos.

<table>
<tr><td></td><td>A composição média dos estrumes e chorumes é apresentada na Tabela 5, a qual inclui a composição em matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), N, sob a forma de azoto total (N_t) e azoto disponível (N_{disp}), P, expresso em anidrido fosfórico (P_2O_5), e K, expresso em óxido de potássio (K_2O). No Anexo 5 apresentam-se as considerações referentes aos valores apresentados.

O teor de MS manifesto nos estrumes é superior ao apresentado pelos chorumes, na medida em que os estrumes incorporam quantidades significativas de material usado na cama dos animais. Em termos de percentagem, os estrumes apresentam um teor de MS de cerca de 21-25% (CBPA, 2009; Bicudo e Ribeiro, 1996a), enquanto o teor de MS dos chorumes varia entre 2-12% (ADENE, 2003), sendo comum um valor de aproximadamente 9-10% (CBPA, 2009; Bicudo e Ribeiro, 1996a).

O teor em MO varia, normalmente, entre 70% e mais de 95% da MS (ADENE, 2003).

A razão C/N nos chorumes tem um valor de aproximadamente 6 (ADENE, 2003).</td></tr>
<tr><td>Utilização</td><td>Em geral, o estrume e chorume são utilizados como correctivos ou fertilizantes orgânicos nos terrenos agrícolas. Nas regiões do EDM, TM, BL e BI chega quase a ser exclusiva a aplicação destes efluentes nos solos, com valores na ordem dos 99%. Apenas nos Açores se reparte com significância entre o uso no solo (54%) e outras utilizações (43%). A utilização destes resíduos para aproveitamento energético é muitíssimo pouco expressiva (INE, 2011).

Enquanto os produtores vêem o estrume como um produto mais fácil de escoar, podendo em alguns casos ser até vendido, o destino final do chorume, o qual geralmente é acumulado juntamente com as águas sujas em fossas especificamente construídas para o efeito, constitui normalmente um problema e geralmente é espalhado em solo agrícola (ADENE, 2003). A sua aplicação no solo agrícola tem de obedecer às normas impostas pelo DL nº 202/2005, o qual estabelece as épocas, locais e quantidades limite de aplicação. Muitas das instalações não estão providas com tanques de armazenamento que permitam a acumulação destes efluentes pelo tempo necessário a dar cumprimento às épocas apropriadas para a sua aplicação e quantidades usadas. Deste modo, é importante encontrar uma solução para o tratamento dos chorumes.</td></tr>
<tr><td>Potencial de Poluição</td><td>O conteúdo em nutrientes dos resíduos pecuários, em especial N e P, pode provocar problemas de poluição. A utilização dos estrumes e chorumes na fertilização dos terrenos nem sempre é feita de modo apropriado, nomeadamente no que respeita a quantidades, épocas e técnicas de aplicação. Assim, a sua utilização pode originar a contaminação das águas subterrâneas, principalmente com nitratos; a acumulação de elementos como o cobre, o K e o P no solo que podem conduzir a problemas de fitotoxicidade para as culturas, colocar em perigo a saúde dos animais e/ou a eutrofização das águas doces superficiais através da erosão dos solos; a absorção de N em quantidades excessivas pelas plantas, prejudicando a qualidade de certas culturas; e a libertação de maus cheiros (Bicudo e Ribeiro, 1996a).

Os microrganismos presentes nos chorumes e estrumes podem ser patogénicos. (Bicudo e Ribeiro, 1996a).</td></tr>
</table>

Tabela 4. Quantidade de estrumes (t) e de chorumes (m^3) não diluídos produzidos anualmente pelas diferentes classes de bovinos (adaptado de: CBPA, 2009)

	Efluente pecuário	t ou m^3/animal/ano
Vaca leiteira	**Estrume (t)**	21,0
	Chorume (m^3)	23,0
Vaca aleitante	**Estrume (t)**	14,0
	Chorume (m^3)	15,5
Bovino de recria (6 a 24 meses)	**Estrume (t)**	7,0
	Chorume (m^3)	8,0
Bovino de engorda intensiva	**Estrume (t)**	6,8
	Chorume (m^3)	7,5

Tabela 5. Composição média dos estrumes e chorumes não diluídos produzidos anualmente pelas diferentes classes de bovinos (adaptado de: CBPA, 2009)

	Efluente pecuário	MS	MO	N_t	N_{disp}	P_2O_5	K_2O
Vaca leiteira	**Estrume (kg/t)**	210	175	5,3	1,3-2,5	2,2	10,8
	Chorume (kg/m^3)	90	70	4,3	2,2-3,0	1,8	8,0
Vaca aleitante	**Estrume (kg/t)**	210	175	5,3	1,3-2,5	2,2	10,8
	Chorume (kg/m^3)	90	70	4,3	2,2-3,0	1,8	8,0
Bovino de recria (6 a 24 meses)	**Estrume (kg/t)**	210	175	5,3	1,3-2,5	2,2	10,8
	Chorume (kg/m^3)	90	70	4,3	2,2-3,0	1,8	8,0
Bovino de engorda intensiva	**Estrume (kg/t)**	210	155	5,4	1,3-2,5	2,3	8,9
	Chorume (kg/m^3)	90	65	4,3	2,2-3,0	1,7	5,2

4.3.2 Águas Sujas

As águas sujas resultam das operações de lavagem dos pavilhões, das salas de ordenha e áreas adjacentes e da mistura das águas das chuvas com os dejectos nos parques descobertos. Incorporam, assim, restos de leite, desinfectantes e detergentes, fezes, urina e restos de ração (Bicudo e Ribeiro, 1996a). A Tabela 6 caracteriza as águas sujas quanto às quantidades geradas, composição, utilização e potencial de poluição.

Tabela 6. Caracterização das águas sujas

Águas Sujas	
Quantidades	A quantidade de águas sujas gerada é fortemente afectada pelo tipo de lavagem das instalações e época do ano (nível de precipitação) (MADRP, 1997). No CBPA (MADRP, 1997) apresenta-se um valor de 7 m^3/CN[2]/ano para a água de limpeza do estábulo e de tratamento dos animais. Este valor, devido às variações a

[2] No Anexo 6 é apresentada a correspondência entre Cabeças Normais (CN) e o número de animais.

	que está sujeito, deve ser tomado com as devidas reservas. Segundo Pereira (2005), os bovinos de leite requerem a utilização de 50 L/animal/dia de água para lavagem das instalações e os bovinos de carne utilizam 40 L/animal/dia. A água utilizada nas salas de ordenha varia entre 14 e 22 L/animal/dia para sistemas de lavagem sem pressão e entre 27 a 45 L/animal/dia para sistemas com pressão (Bicudo e Ribeiro, 1996a).
Composição	Estas águas apresentam um teor de MS geralmente inferior a 3%. Os teores de CBO_5 são muito variáveis (Bicudo e Ribeiro, 1996a).
Utilização	Estas águas podem ser utilizadas na irrigação de campos, embora o seu valor fertilizante seja significativamente inferior ao dos chorumes e estrumes (Bicudo e Ribeiro, 1996a). Na maioria das vezes estas águas são armazenadas juntamente com os chorumes em fossas de armazenamento nas explorações pecuárias (ADENE, 2003).
Potencial de Poluição	O potencial de poluição das águas sujas é cerca de 3 a 5 vezes superior ao das águas residuais urbanas não tratadas (Bicudo e Ribeiro, 1996a).

4.3.3 Escorrências de Silagem

As escorrências de silagem provêm das instalações (silos) onde se conservam as forragens (nome dado à alimentação ou material das camas dos animais) (MADRP, 1997). A Tabela 7 caracteriza as escorrências de silagem quanto às quantidades geradas, composição, utilização e potencial de poluição.

Tabela 7. Caracterização das escorrências de silagem

Escorrências de Silagem	
Quantidades	As quantidades produzidas dependem do maior ou menor teor de humidade do material ensilado. O teor de humidade, por sua vez, depende de factores como o grau de maturação do material, das condições meteorológicas, da utilização de aditivos e absorventes e se os silos são cobertos ou não (Bicudo e Ribeiro, 1996a).
Composição	As escorrências de silagem são ricas em substâncias orgânicas facilmente biodegradáveis, algumas delas azotadas (MADRP, 1997).
Utilização	Podem ser utilizadas como material fertilizante, aplicando-se nos solos, ou serem usadas na alimentação do gado. É necessário armazená-las convenientemente antes da sua utilização (MADRP, 1997).
Potencial de Poluição	Este efluente possui um grande potencial poluente dada a sua composição. Os valores de CBO_5 apresentados são cerca de 200 vezes superiores aos das águas residuais urbanas não tratadas (Bicudo e Ribeiro, 1996a). Para além disso, estas escorrências são bastante corrosivas (MADRP, 1997). Os acidentes de poluição com estes efluentes poderão ser devidos a silos e/ou fossas de recolha mal concebidos, deficientemente construídos ou mantidos (MADRP, 1997).

5 Digestão Anaeróbia

5.1 Processo de Digestão Anaeróbia

A DA da matéria orgânica biodegradável ocorre na ausência de oxigénio e na presença de microrganismos anaeróbios. A DA é consequência de uma série de interacções metabólicas entre vários grupos de microrganismos, que cooperam entre si, auto-regulando o processo de digestão (Verma, 2002). Desenvolve-se segundo quatro etapas distintas: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese (Cheng, 2009).

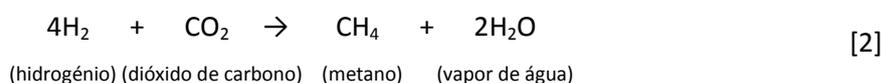
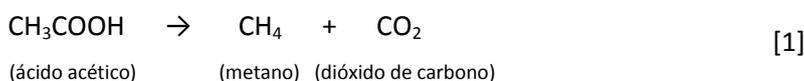
Na **hidrólise**, a matéria orgânica biodegradável, que contém principalmente carbohidratos, proteínas e gorduras na forma sólida, é sujeita a desintegração, isto é hidrólise, levada a cabo por microrganismos facultativos que segregam enzimas. Estas enzimas transformam o material polimérico em monómeros: açúcares simples (monossacarídeos), aminoácidos e ácidos gordos na forma líquida (Cheng, 2009; Gonçalves, 2005). Estes compostos vão constituir substrato para a acção dos microrganismos que actuam na acidogénese. A actividade hidrolítica pode limitar o processo de DA, sendo por vezes utilizados produtos químicos para melhorar esta etapa, resultando num menor tempo de digestão e numa maior produção de metano, CH_4 (Verma, 2002).

Na **acidogénese**, isto é, geração de ácidos, os produtos solúveis da hidrólise são absorvidos e utilizados por microrganismos anaeróbios ou facultativos, de onde resulta a excreção de ácidos orgânicos (ácidos propiónico, valérico, láctico e butírico), álcoois e compostos inorgânicos, tais como dióxido de carbono, CO_2, hidrogénio, H_2, amónia, NH_3, e sulfureto de hidrogénio, H_2S (Cheng, 2009).

Durante a **acetogénese**, esta mistura complexa de ácidos formada durante a acidogénese é transformada em ácido acético pelas bactérias acetogénicas, com a libertação simultânea de CO_2 e H_2 (Gonçalves, 2005).

Na **metanogénese**, a produção de CH_4 pode resultar de dois mecanismos distintos: a transformação do ácido acético, CH_3COOH, pelas bactérias metanogénicas em CH_4 e CO_2 (Equação 1) e a reacção entre o H_2 e o CO_2, originando CH_4 e vapor de água, H_2O (Equação 2). A reacção [1] é denominada metanogénese acetoclástica e a reacção [2] metanogénese redutora e ambas podem ser provocadas por bactérias metanogénicas, as quais apresentam elevada diversidade morfológica (Cheng, 2009):

$$\underset{\text{(ácido acético)}}{CH_3COOH} \rightarrow \underset{\text{(metano)}}{CH_4} + \underset{\text{(dióxido de carbono)}}{CO_2} \qquad [1]$$

$$\underset{\text{(hidrogénio)}}{4H_2} + \underset{\text{(dióxido de carbono)}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{(metano)}}{CH_4} + \underset{\text{(vapor de água)}}{2H_2O} \qquad [2]$$

A reacção [1] é mais dominante. Embora na etapa de acidogénese seja produzido H_2, a sua concentração na fase líquida da digestão é muito reduzida não resultando significativamente na formação de CH_4 (Cheng, 2009). Estima-se que aproximadamente 70% do CH_4 produzido provenha da reacção [1] e os restantes 30% resultem da reacção [2] (Bicudo e Ribeiro, 1996b).

No Anexo 7 ilustra-se o processo de DA descrito anteriormente, apresentando as percentagens de cada componente em cada etapa.

5.1.1 Parâmetros que influenciam o Processo de Digestão Anaeróbia

São muitos os parâmetros que influenciam o processo de DA. Entre os principais estão: a temperatura, os tempos de retenção, a taxa de alimentação, a alcalinidade e pH, a mistura e os nutrientes.

5.1.1.1 Temperatura

Há duas gamas distintas de temperatura nas quais o processo de DA pode ser operado, a gama mesofílica e a gama termofílica (Gerardi, 2003; Balsam, 2006; Hamilton, n. d.). Em cada uma delas intervêm diferentes bactérias. Os sistemas mesofílicos operam num intervalo de 30 ^{o}C a 40 ^{o}C (Ogejo et al., 2009), sendo a temperatura de 35 ^{o}C ideal (Hamilton, n. d.), e neles predominam as bactérias mesofílicas. Já os sistemas termofílicos operam com temperaturas entre os 50 ^{o}C e 60 ^{o}C (Ogejo et al., 2009), sendo a temperatura de 55 ^{o}C tida como ideal (Hamilton, n. d.), e neles predominam as bactérias termofílicas. A temperaturas entre os 40 ^{o}C e os 50 ^{o}C as bactérias formadoras de metano são inibidas (Gerardi, 2003).

A digestão termofílica pode gerar uma maior taxa de crescimento das bactérias, apresentando estas um tempo de reprodução de 10 a 15 dias, o qual contrasta com os mais de 30 dias registados pela digestão mesofílica (Hamilton, n. d.). Apresenta também maiores rendimentos de produção de biogás, o que resulta num tempo de retenção hidráulico (TRH) inferior. No entanto, a energia necessária para operar este sistema é maior do que a verificada nos sistemas mesofílicos e podem ser necessárias infra-estruturas adicionais para promover aquecimento suficiente. No caso de se utilizarem estrumes, o sistema está mais facilmente sujeito a que não esteja disponível calor suficiente para se alcançarem temperaturas termofílicas, sendo conveniente diluir os resíduos (Burke, 2001). É necessário que a temperatura se mantenha uniforme ao longo do reactor e deve, assim, ser gerida de modo a prevenir zonas com quebras de temperatura (Ogejo et al., 2009).

5.1.1.2 Tempos de retenção

O número de dias que a MO permanece no digestor é designado por tempo de retenção. Há dois tempos de retenção a considerar nos digestores anaeróbios: o tempo de retenção de sólidos (TRS) e o TRH (Gerardi, 2003).

O TRS é o tempo médio que as bactérias (sólidos) se encontram no interior do digestor. É o tempo de retenção mais importante e o parâmetro mais importante na conversão dos sólidos dos resíduos a produtos gasosos (Burke, 2001). Pode ser calculado através da quantidade de sólidos mantida no digestor dividida pela quantidade de sólidos descarregada diariamente (Equação 3):

$$TRS = \frac{V \times C_d}{Q_r \times C_r} \quad [3]$$

onde V é o volume do digestor; C_d é a concentração de sólidos no digestor; Q_r é o caudal diário de resíduo digerido e C_r é a concentração de sólidos no resíduo (Burke, 2001).

A presença de elevados TRS é vantajosa para os digestores anaeróbios, na medida em que maximiza a capacidade de produção de biogás, permite digestores de menor volume e proporciona capacidade tampão de protecção contra cargas inesperadas e substâncias tóxicas (Gerardi, 2003; Ogejo et al., 2009). Tipicamente, os TRS para os digestores anaeróbios são superiores a 12 dias. TRS inferiores a 10 dias não são recomendados. O TRS não é significativamente afectado pela natureza dos resíduos a tratar, a não ser que estes possuam elementos tóxicos para as bactérias (Gerardi, 2003).

Por sua vez, o TRH é o tempo que os resíduos permanecem no digestor (Burke, 2001). O TRH é igual ao volume do digestor, V, dividido pelo caudal diário, Q (Equação 4) (Burke, 2001):

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad [4]$$

Este tempo de retenção estabelece a extensão conversão da MO a biogás (Burke, 2001). Os TRH típicos vão dos 10 – 25 dias (Raven e Gregersen, 2005).

5.1.1.3 Taxa de alimentação

Os tempos de retenção por si só não permitem avaliar o impacto que a concentração do resíduo afluente tem no digestor anaeróbio e, assim, avaliar a capacidade do digestor converter a MO em biogás, sendo necessário o conhecimento da taxa de alimentação. A taxa de alimentação é vulgarmente definida como a quantidade de sólidos voláteis (SV) alimentados ao digestor por unidade de volume do digestor e por dia, apresentando geralmente as unidades $kg/m^3/d$ (Burke, 2001). A taxa de alimentação do digestor, A, pode ser calculada se o TRH e a concentração do resíduo afluente, C_a, forem conhecidos (Equação 5) (Burke, 2001):

$$A = \left(\frac{1}{TRH}\right) C_a \qquad [5]$$

Os SV são uma medida da quantidade de MO nos resíduos alimentados. Em geral, materiais com elevados teores de SV produzem mais biogás (Ogejo et al., 2009). Aumentando a taxa de alimentação, o volume do digestor diminui mas, simultaneamente, a percentagem de SV convertidos a biogás também diminui (Burke, 2001).

5.1.1.4 Alcalinidade e pH

A presença de alcalinidade suficiente nos digestores é essencial para se manter um controlo adequado do pH, na medida em que a alcalinidade funciona como um tampão que previne rápidas alterações de pH (Gerardi, 2003). Por sua vez, é necessário manter um valor aceitável de pH no digestor para que o sistema funcione bem. Bactérias acidogénicas preferem um pH acima de 5,0 e bactérias metanogénicas desenvolvem-se melhor com valores de pH acima dos 6,2 (Gerardi, 2003; Ogejo et al., 2009). A maioria das bactérias anaeróbias tem um bom desempenho com valores de pH neutros, entre 6,8 e 7,2 (Gerardi, 2003; Ogejo et al., 2009).

5.1.1.5 Mistura

O conteúdo dos digestores anaeróbios necessita de ser agitado. A mistura distribui as bactérias, substratos e nutrientes por todo o digestor; elimina ou minimiza a sedimentação de partículas e a formação de escuma; evita a estratificação de temperaturas, igualando a temperatura por todo o digestor; promove uma rápida dispersão dos produtos da digestão e dos materiais tóxicos, minimizando a toxicidade. As bactérias acetogénicas e as bactérias metanogénicas necessitam de estar em contacto próximo, o qual é assegurado por uma mistura lenta. A mistura proporciona também uma correcta hidrólise dos resíduos e a produção de ácidos orgânicos pelas bactérias acidogénicas (Gerardi, 2003).

A mistura pode ser realizada através de métodos mecânicos ou recirculação de gás, incluindo bombas externas, injecção de gás ou recirculação a partir do fundo ou topo do digestor, hélice ou turbinas e tubos de sucção (Gerardi, 2003).

5.1.1.6 Nutrientes

As bactérias necessitam de uma concentração suficiente de nutrientes de modo a alcançaram um crescimento óptimo. Em Burke (2001) e Walsh et al. (1988) admite-se que a razão C/N deve ser menor do que 43/1 e que a razão C/P deve ser menor do que 187/1. Em Balsam (2006), admite-se um rácio C/N

recomendado entre 15/1 e 30/1. Segundo ADENE (2003), a razão C/N/P recomendada para uma degradação anaeróbia eficiente situa-se na ordem de 100/5/1.

5.2 Produtos da Digestão Anaeróbia

No final do processo de DA tem-se produto gasoso, designado por biogás, e produto digerido. O produto digerido pode ser submetido a uma separação sólido-líquido, originando um resíduo sólido, maioritariamente composto por fibra, e um líquido clarificado (ETSU, 1997; ADENE, 2003; Durão, 2009). Durante o processo de DA há também a libertação de grandes quantidades de calor (Escobar e Heikkilä, 1999). A Figura 1 ilustra o balanço de massa típico de um sistema de DA.

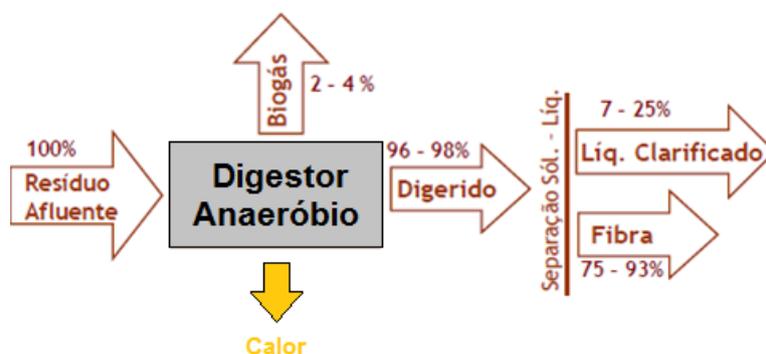



Figura 1. Balanço de massa típico de um sistema de DA (percentagens mássicas) (adaptado de: ETSU, 1997)

5.2.1 Biogás

O biogás é uma mistura gasosa composta maioritariamente por CH_4 e CO_2, e por quantidades mais ou menos residuais de outros componentes como H_2, N_2, H_2S, monóxido de carbono (CO) e amoníaco (NH_3) (Cordebella et al., 2006). A composição e quantidade do biogás variam com o tipo e quantidade de substrato utilizado e com as condições de operação do processo, dependendo de factores climáticos, dimensões do digestor anaeróbio, entre outros (Cervi et al., 2010). No caso de funcionamento adequado do processo, o biogás obtido apresenta aproximadamente 50 – 80% de CH_4 e 20 – 40% de CO_2 (Cordebella et al., 2006). A composição típica do biogás em CH_4 resultante da DA é de 65% (GTI, 1988).

O biogás pode ser prejudicial para o ambiente, uma vez que o teor em CH_4 do biogás faz com que esta mistura gasosa tenha um contributo importante em termos do efeito de estufa. Este gás tem uma capacidade cerca de 21 vezes superior ao CO_2 para reter a radiação infravermelha emitida pela terra para a atmosfera, tendo assim uma forte contribuição para o feito de estufa. Para minimizar esta situação, o CH_4 no biogás deve ser queimado e convertido em CO_2 (ADENE, 2003). O H_2S e NH_3 conferem

características corrosivas ao biogás, pelo que geralmente é necessário proceder à sua purificação (Durão, 2009).

Por outro lado, o biogás gerado numa instalação de DA representa um recurso energético potencialmente valorizável e renovável. Em função da participação percentual do CH_4 na composição do biogás, o valor energético deste pode variar de 20,9 MJ/m^3 a 29,3 MJ/m^3 (Cervi et al., 2010). Arati (2009) apresenta um valor energético do biogás produzido a partir de resíduos de bovinos de 23-25 MJ/m^3.

Existem diversas opções possíveis para a conversão directa ou indirecta do biogás em energia útil. As mais vulgares são a utilização directa em sistemas de combustão, quer para produção singular de calor (na forma de água quente ou vapor) ou electricidade, quer para produção combinada de calor e electricidade (cogeração). O calor gerado pode ser utilizado no aquecimento do próprio processo de digestão, o qual geralmente utiliza cerca de 1/3 da energia do biogás, ou noutros locais próximos, como é o caso de instalações da unidade de DA e indústrias e/ou habitações próximas. A produção singular de electricidade é realizada com recurso a um motor ligado a um gerador de energia eléctrica e esta pode ser usada na própria instalação ou injectada na rede. Nos sistemas de cogeração utilizam-se grupos motor/gerador (Durão, 2009; ADENE, 2003). O biogás pode ser também utilizado como combustível veicular, em células de combustível e em redes de gás natural, embora estas utilizações sejam pouco comuns (ADENE, 2003).

O biogás produzido contém contaminantes e impurezas, como é o caso principalmente de humidade, partículas e H_2S, sendo necessário proceder à sua purificação previamente à sua utilização (ADENE, 2003).

5.2.2 Produto digerido

O produto digerido é geralmente transferido para um tanque de armazenamento e, posteriormente, poderá ser utilizado como fertilizante/condicionante através do espalhamento directo em solo agrícola. No entanto, este produto digerido apenas pode ser considerado como parcialmente tratado, sendo assim necessário proceder ao seu tratamento antes da sua utilização. Para tal, é submetido a uma separação sólido-líquido, originando um produto sólido, vulgarmente designado por fibra, e a um líquido clarificado. A sua aplicação deverá respeitar critérios específicos em relação ao tipo de solo, cultura, época de espalhamento, quantidades a aplicar, modo de aplicação, entre outros, de acordo com a legislação específica e com o CBPA (MADRP, 1997).

5.2.2.1 Fibra

A fracção sólida separada do produto digerido, designada por fibra visto que é composta predominantemente por material fibroso de digestão lenta, tem normalmente um teor reduzido de nutrientes, pelo que a sua utilização tende a limitar-se ao condicionamento de solos. A sua aplicação em solo é mais fácil e barata do que o produto original, para além de que o odor libertado é bastante menos ofensivo (ADENE, 2003).

Uma alternativa possível para melhorar o valor da fibra é proceder à sua compostagem, no sentido de obter um produto final mais estabilizado, designado de composto orgânico. Este pode ser comercializado. No entanto, esta via requer ainda um desenvolvimento significativo do mercado para que a comercialização possa ser viável em grande escala. Actualmente, qualquer venda de composto só pode ser feita a nível local pois não seria económica ou ambientalmente viável proceder ao respectivo transporte a longas distâncias. Outro aspecto a considerar na comercialização deste produto é a sazonalidade da procura, o que obriga à existência de infra-estruturas que permitam o armazenamento do produto por um período mínimo de seis meses e em condições adequadas (protegido da chuva e dos insectos e com controlo das escorrências) (ADENE, 2003). Sendo assim, antes de se optar pela comercialização de um composto orgânico é necessário realizar um estudo de mercado e garantir a existência das infra-estruturas necessárias ao seu armazenamento.

5.2.2.2 Líquido Clarificado

O líquido digerido proveniente do processo anaeróbio apresenta uma diversidade de nutrientes, embora em níveis geralmente reduzidos, e um elevado teor de água. Pode ser utilizado para irrigação de campos agrícolas, com o efeito acumulado de os fertilizar (fertirrigação) (Durão, 2009). Deverão ser tidas em atenção as características do líquido, nomeadamente a quantidade e tamanho das partículas, de modo a não ocorrerem entupimentos nas tubagens e sistemas de aspersão. Os métodos de espalhamento e os períodos de aplicação para o efeito dependem do tipo de cultura em que é aplicado, do estado de crescimento da planta e do tipo de solo. O espalhamento deverá respeitar regras que evitem a lixiviação dos nutrientes para águas subterrâneas ou superficiais e que preservem o ambiente (ADENE, 2003).

O líquido é geralmente armazenado e utilizado em terrenos anexos à exploração onde é produzido. Alternativamente, poderão ser implementados locais específicos mais afastados de armazenamento em lagoas ou tanques, de preferência em pontos estratégicos na região circundante, que permitam o espalhamento eficiente numa área mais vasta de terreno (ADENE, 2003). Não é corrente ponderar-se a sua comercialização.

5.3 Substratos para a Digestão Anaeróbia

Existem três grupos principais de resíduos aos quais se aplicam os processos anaeróbios: resíduos agro-pecuários, resíduos industriais e resíduos municipais (ADENE, 2003). A par das lamas de ETARs municipais, os resíduos agro-pecuários, nomeadamente os gerados pelas explorações pecuárias, particularmente os provenientes das suiniculturas, bovinicultura e aviculturas, são aqueles aos quais a DA tem sido maioritariamente aplicada. Os excrementos dos animais apresentam uma elevada biodegradabilidade em condições de anaerobiose, podendo ser utilizados quer em sistemas simplificados e/ou de reduzida dimensão, quer em digestores mais complexos e de maior escala (ADENE, 2003).

Em particular, os resíduos provenientes das explorações de bovinos podem apresentar alguns problemas quando são digeridos anaerobiamente. A dieta destes animais é rica em celulose e lenhina e a degradação destes compostos é bastante difícil, o que faz com que haja uma diminuição significativa no rendimento específico destes resíduos. Por outro lado, o facto de nestes animais a degradação da maioria do C biodegradável ocorrer no estômago e no rúmen leva a que a produção de biogás seja bastante inferior à que se verifica nos resíduos provenientes das suiniculturas e aviculturas. Também o facto de a alimentação destes animais poder variar consoante a estação do ano, Verão ou Inverno, influencia a produção de biogás (Ferreira, 2009). Componentes como palha, aparas de madeira, material inorgânico (areias, vidros e metais) e material polimérico afectam negativamente a dinâmica de fluidos e biodegradabilidade dos substratos. No entanto, dependendo do tipo de reactor e do tamanho da palha, esta pode mesmo melhorar substancialmente a produção de biogás através de regulação da razão C/N para valores na ordem dos 25-30%. A adição de estrume, como material de características sólidas, permite reduzir a diluição da mistura a tratar, melhorando a produção de biogás por unidade de volume tratado (ADENE, 2003).

A co-digestão dos resíduos das boviniculturas com outros resíduos pode levar ao aumento do rendimento do processo. É o caso da co-digestão com resíduos da indústria alimentar, com lamas de ETARs e com resíduos de outras actividades pecuárias, como a suinicultura e avicultura (Ferreira, 2009).

5.4 Sistemas Individuais e Centralizados de Digestão Anaeróbia

A DA de resíduos pecuários pode-se realizar em diferentes escalas, as quais podem ser divididas, essencialmente, em 2 situações típicas[3]:

- **Sistemas individuais**, com utilização de resíduos pecuários gerados por uma única exploração e implementados no próprio local da exploração;
- **Sistemas centralizados, ou CDA**, onde se faz a digestão dos resíduos orgânicos de uma região (grandes quantidades de resíduos), essencialmente provenientes de explorações pecuárias, incorporando assim resíduos de vários produtores, e podendo também incluir outros resíduos, na sua maioria resíduos industriais e lamas de ETARs (co-digestão).

Em geral, a complexidade da gestão de um sistema de biogás aumenta com a respectiva escala no que diz respeito a questões técnicas de operação, fornecimento adequado de substrato e escoamento de produtos.

A nível europeu, predomina a implementação dos sistemas individuais de DA. Destaca-se o número de sistemas individuais de DA implementados na Alemanha, acima dos 3000 (ver Anexo 8). Neste país os benefícios da aplicação de sistemas individuais são elevados. Tal deve-se principalmente à incorporação de culturas energéticas nos resíduos alimentados ao digestor, o que aumenta a produção de biogás, e à existência de um mercado de digestores anaeróbios à escala individual muito desenvolvido, com muita oferta e um forte apoio técnico (AEAT, 2005). No entanto, verificou-se um aumento dos custos de produção das culturas energéticas, o que reduz a viabilidade económica destes sistemas, prevendo-se, assim, uma desaceleração da tendência de crescimento da aplicação de unidades descentralizadas (Durão, 2009).

Os sistemas centralizados de DA são maioritariamente utilizados na Dinamarca, registando este país 20 CDA em 2005. Na Dinamarca há uma aposta política e estratégica clara, concretizada em programas de acção específicos, para promover a utilização das CDA (Durão, 2009).

De acordo com AD-Nett (2005), em Portugal contabilizam-se 100 sistemas individuais de DA. Segundo Berardino (2009), 71 destes sistemas destinam-se ao tratamento de resíduos provenientes de suiniculturas, 8 de aviculturas e 5 de bovinivulturas. Uma percentagem alta destes sistemas recorre à utilização de digestores anaeróbios rústicos e de operação simples, a operarem a cerca de 20 ^{o}C (Bicudo e Ribeiro, 1996b).

[3] Alguns autores assumem outras classificações, nomeadamente ADENE (2003) refere 3 tipos de sistemas, individuais, comuns e centralizados, e Ogejo et al. (2009) classifica-os em individuais, centralizados e com co-digestão.

Os subcapítulos seguintes descrevem os sistemas individuais e centralizados de DA, apresentando-se para os sistemas individuais de DA uma caracterização mais geral e para as CDA uma caracterização mais detalhada, uma vez que as CDA são o sistema de DA a implementar no presente projecto.

5.4.1 Sistemas Individuais de Digestão Anaeróbia

A Tabela 8 descreve os sistemas individuais de DA relativamente às características dos substratos, características técnicas e economia.

Tabela 8. Caracterização dos sistemas individuais de DA

Sistemas Individuais de DA	
Substratos Utilizados	
Tipos	Os principais substratos utilizados nestes sistemas são chorumes provenientes da suinicultura, avicultura e bovinicultura. Podem ser também adicionados resíduos orgânicos provenientes da indústria alimentar, embora não seja muito usual (Escobar e Heikkilä, 1999).
Quantidades	1 000 – 70 000 m^3/ano (Fischer e Krieg, 2000).
Características Técnicas	
Gama de temperatura	Predominantemente utilizam-se sistemas na gama mesofílica (ADENE, 2003).
Configuração dos sistemas	É possível distinguir mais de 100 configurações de sistemas individuais de DA na Europa (Escobar e Heikkilä, 1999). Estes sistemas são constituídos geralmente por: Tanque de recepção → Digestor(es) anaeróbio(s) → Tanque de higienização (facultativo) → Tanque de armazenamento do produto digerido → Instalação de cogeração ou grupo moto-gerador para produção exclusiva de electricidade (Escobar e Heikkilä, 1999). Os digestores de lagoa coberta, os digestores de fluxo-pistão e os reactores perfeitamente agitados (em inglês, *Continuous Stirred-Tank Reactors* – CSTRs) a operar na gama mesofílica são os mais utilizados (US EPA, 2004; Burke, 2001).
Biogás	A aplicação do processo de DA de modo a produzir uma quantidade de biogás suficiente para viabilizar economicamente o investimento está limitada à existência de um efectivo pecuário mínimo (US EPA, 2004).
Número de animais aplicável	Trabalhos realizados demonstram que a produção de energia eléctrica a partir do biogás só deverá ser equacionada em explorações de bovinicultura com mais de cerca de 500 vacas leiteiras (US EPA, 2004; Soares et al., 2005).
TRH	10 – 30 dias (ADENE, 2003).
Operação	É necessário o acompanhamento do processo por técnicos especializados, de modo a garantir o seu correcto funcionamento e resolução de problemas no caso de alguma falha, o que constitui um entrave à implementação destes sistemas.
Economia	
Estes sistemas, em geral, não são economicamente viáveis. O custo de investimento aproximado de uma unidade de DA individual para 100 bovinos é de 68 000€ - 82 000€ (Escobar e Heikkilä, 1999).	

5.4.2 Sistemas Centralizados de Digestão Anaeróbia

Os sistemas centralizados de DA serão analisados em grande parte com recurso a uma análise detalhada da sua implementação na Dinamarca, país onde a utilização destes sistemas se encontra mais desenvolvida. No Anexo 9 apresentam-se as tabelas que fundamentam a análise efectuada.

5.4.2.1 Características dos Substratos

A Tabela 9 exibe as características dos substratos usados nas CDA.

Tabela 9. Características dos substratos dos sistemas centralizados de DA

Sistemas Centralizados de DA	
Características dos Substratos	
Tipos	As CDA processam resíduos pecuários provenientes essencialmente de suiniculturas, aviculturas e bovinicultura e, em muitos casos, recebem também outros resíduos orgânicos, como lamas de ETARs, resíduos industriais (geralmente oriundos da indústria alimentar) e Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), efectuando-se uma co-digestão. A adição destes co-substratos permitiu que a aplicação destes sistemas proliferasse e actualmente a sua economia é fortemente dependente deles. Os co-substratos podem proporcionar uma fonte adicional de receitas, quer através da cobrança de taxas de admissão para tratamento, quer através do aumento da produção de biogás, podendo esta duplicar ou triplicar (Escobar e Heikkilä, 1999).
Quantidades	Na Dinamarca, os resíduos das suiniculturas e boviniculturas são claramente os mais utilizados no total das CDA do país, com 39% e 33% do total de resíduos admitidos a tratamento, respectivamente. Os resíduos com origem nas aviculturas representam apenas 0,3% do total de resíduos tratados. A dimensão máxima encontrada nas instalações europeias, ditada normalmente por questões logísticas de transporte e manuseamento dos resíduos, situa-se geralmente entre 100 000 e 200 000 t/ano de resíduos (ADENE, 2003). Na Dinamarca, a quantidade total de resíduos agro-pecuários tratada por cada central varia desde os cerca de 7 500 m^3/ano até aos cerca de 122 000 m^3/ano. A quantidade de co-substratos é menos expressiva, variando desde os cerca de 755 m^3/ano até aos aproximadamente 43 000 m^3/ano. No total, as CDA na Dinamarca processam desde os cerca de 12 000 m^3/ano até aos 162 000 m^3/ano.

5.4.2.2 Características Técnicas

Alguns dos aspectos técnicos que caracterizam as CDA são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Características técnicas dos sistemas centralizados de DA

Sistemas Centralizados de DA	
Características Técnicas	
Gama de temperatura	Durante muitos anos, a utilização de sistemas a operar na gama mesofílica de temperaturas foi dominante, no entanto, a maioria dos últimos digestores a serem construídos opera na gama termofílica (Escobar e Heikkilä, 1999). Tal é também constatado nos digestores implementados na Dinamarca. Há que ter em consideração as vantagens e desvantagens destas duas gamas de temperatura já discutidas anteriormente.
Configuração dos sistemas	A configuração dos sistemas utilizados é variável, dependendo de diversos factores, nomeadamente: características e quantidades dos substratos disponíveis; clima da região; distâncias de transporte; necessidades de energia/calor da região; valor de mercado da energia eléctrica; necessidades de fertilização da região e aceitação de um composto orgânico no mercado; entre outros. Verifica-se que predomina a existência de CDA com as seguintes unidades: tanque de recepção → Digestor(es) anaeróbio(s) → Tanque de higienização → Tanque de armazenamento do produto digerido → Sistema de purificação do biogás → Gasómetro → Caldeira a gás → Instalação de cogeração. Os digestores mais usados nas CDA são reactores perfeitamente agitados ou reactores de fluxo-pistão (Karellas et al., 2010). Os digestores implementados na Dinamarca apresentam diferentes capacidades (volumes), variando desde os 750 m^3 até aos 7 500 m^3. É muito frequente a utilização de vários digestores acoplados. Uma vez que se está a lidar com grandes quantidades de resíduos, deve ser equacionada a separação sólido-líquido do produto digerido e a posterior compostagem da fracção sólida com colocação no mercado do composto orgânico digerido, embora tal se encontre fora do âmbito do presente estudo (ADENE, 2003).
Biogás	O biogás produzido é armazenado em gasómetros. Geralmente, é utilizado para cogeração (Escobar e Heikkilä, 1999). Na Dinamarca, as capacidades de armazenamento do biogás dos gasómetros variam dos 50 m^3 aos 4 000 m^3.
TRH	12 - 20 dias (ADENE, 2003); 10 - 25 dias (Raven e Gregersen, 2005).
Transporte dos resíduos	A distância máxima considerada na recolha dos resíduos varia de autor para autor. Segundo Santos (2005), em termos práticos, é vulgar considerar-se como ideal uma distância máxima de 5 km entre a CDA e os centros produtores, embora esta possa ser superior e atingir valores de 10 ou 15 km. ADENE (2003) defende a aplicação de distâncias de 10 ou 15 km. A recolha de resíduos a uma distância superior deverá depender de circunstâncias especiais, entre as quais se pode citar a concentração de matéria orgânica. Por sua vez, Durão (2009) admite um raio máximo para o transporte de resíduos de 25 km.

	O transporte dos resíduos desde os locais de origem até à CDA implica, por vezes, o seu armazenamento temporário (Durão, 2009). O transporte dos chorumes e estrumes é efectuado por estrada em tanques de vácuo, com tracção proporcionada por camiões ou tractores. A capacidade dos tanques utilizados pelos tractores é reduzida, entre os 8 e 10 m^3 (ADENE, 2003), enquanto a capacidade dos camiões cisterna varia dos 10 aos 30 m^3 (ADENE, 2003; Durão, 2009). De acordo com Al Seadi (2000), o transporte dos resíduos das explorações pecuárias até às CDA na Dinamarca é feito em camiões com tanques de vácuo com capacidades de 15 m^3, 16 m^3, 18 m^3 ou 20 m^3, sendo que a grande maioria dos tanques apresenta uma capacidade de 20 m^3.

5.4.2.3 Economia

Devem ser analisados os custos de investimento inicial, os custos de operação (pessoal, custos administrativos, encargos com análises físico-químicas, electricidade, entre outros), os custos de manutenção (equipamento electromecânico e de construção civil, entre outros) e os custos de transporte dos resíduos. De um outro lado, têm-se as receitas relativas à venda de electricidade e calor a terceiros e, caso se aplique, da venda de composto orgânico. Em alguns países, como é o caso da Dinamarca, geram-se também receitas da aplicação de taxas de recepção dos resíduos na central, mas tal não está estabelecido ainda em Portugal.

Pode ser efectuado um balanço económico, ou seja, a diferença entre as receitas e os custos. Também pode ser avaliada a necessidade de subsidiar as CDA.

Na seguinte tabela (Tabela 11) apresenta-se uma descrição dos custos, receitas, balanço económico e subsídios aplicados às CDA.

Tabela 11. Economia dos sistemas centralizados de DA

Sistemas Centralizados de DA	
Custos	
Investimento inicial	Na Dinamarca, o investimento inicial total foi dos 775 000 € até aos 7,4 M€, dependendo principalmente da capacidade da CDA e da tecnologia usada. Verifica-se que os principais custos de investimento estão associados à construção da instalação, podendo estes ir dos cerca de 530 000 € para instalações de menor dimensão até aos 7,3 M€ para as instalações com maior capacidade. É também necessário considerar os investimentos relativos aos veículos, e em alguns casos, aos tanques de armazenamento de lamas nas explorações e, no caso de o processo incluir a separação do produto digerido em fases, às unidades de separação sólido-líquido. Os investimentos nos veículos podem ir dos cerca de 50 000 € até aos cerca de 500 000 €. Os custos associados aos tanques de armazenamento de lamas nas

	explorações dependem de vários factores, como o número de tanques implementados, as suas dimensões, entre outros, variando dos 50 000 € aos 1,7 M€. Os custos de unidades de separação mecânica do produto digerido podem ir de 400 000 € a 780 000 €. De acordo com Nielsen e Hjort-Gregersen (2002) e Baldwin et al. (2009), verificam-se consideráveis economias de escala nos custos de investimento.
Custos de operação e de manutenção	Os custos de O&M verificados em 1998 (ou 1997/98) nas CDA da Dinamarca variam dos 49 000 €/ano até aos 1,6 M€/ano. De acordo com Nielsen e Hjort-Gregersen (2002), verificam-se consideráveis economias de escala nos custos de operação.
Custos de transporte dos resíduos	Está estimado que o custo de transporte dos resíduos constitua 35-50% dos custos totais de operação da instalação (Escobar e Heikkilä, 1999).
Receitas	
Venda de electricidade e calor	A electricidade produzida a partir da energia do biogás pode ser vendida à rede eléctrica, podendo-se obter receitas que conduzem à economia dos sistemas. O calor, eventualmente, também poderá ser vendido aos edifícios/indústrias das redondezas. A opção de venda da electricidade à rede é sempre considerada em todas as CDA dinamarquesas.
Venda de composto orgânico	A venda de um composto orgânico, após separação sólido-líquido e possível compostagem da fibra pode gerar receitas que permitem a economia dos sistemas. O mercado/aceitação de venda de um composto orgânico necessita de ser alvo de um estudo particular.
Balanço Económico	
O balanço económico foi positivo em todas as instalações dinamarquesas no ano de 1998 (ou 1997/98), à excepção de apenas uma CDA.	
Subsídios	
Os primeiros sistemas implantados precisavam de um subsídio de cerca de 30-40% para alcançarem equilíbrio económico, mas as novas unidades necessitam de menos de 20% de subsídio, sendo este de 0% em alguns casos. Durante os últimos anos houve melhorias na construção e os preços diminuíram. Contudo, o grande desafio dos sistemas centralizados continua a ser a obtenção de viabilidade económica sem ser necessária a utilização de co-susbtratos (Escobar e Heikkilä, 1999).	

5.5 Caracterização dos Digestores Anaeróbios

Nos últimos 60 anos foram desenvolvidos a nível mundial vários tipos de digestores anaeróbios aplicados ao tratamento de resíduos municipais, da indústria alimentar e agro-pecuários (Burke, 2001; Ogejo et al., 2009).

Os digestores anaeróbios são sujeitos a diferentes classificações, de acordo com as suas características. Algumas das principais classificações possíveis são as seguintes:

- Digestores **contínuos** ou **descontínuos** (*batch*), quanto ao modo de alimentação;
- Digestores **mesofílicos** ou **termofílicos**, quanto à gama de temperaturas utilizada;

- Digestores **com biomassa em suspensão** ou **biomassa fixa**, quando à situação de retenção da biomassa.

Nos digestores a operar continuamente o substrato está sempre a ser adicionado ao reactor e, assim, o volume é fixo ao longo do processo e o biogás é continuamente produzido. Em oposição, nos digestores descontínuos o substrato é introduzido no reactor e lá permanece até ao final da digestão (Tchobanoglous et al., 1993). Embora os digestores a operar em descontínuo sejam mais baratos e mais simples, o risco de entupimento nestes digestores é elevado e a produção de biogás não se mantém em níveis elevados, existindo picos seguidos de uma diminuição da produção à medida que os resíduos são consumidos. Assim sendo, os digestores contínuos são os indicados para projectos em que se valorize a produção de biogás (Vandevivere et al., 2003; Juniper, 2007).

O uso das gamas mesofílica e termofílica de temperaturas já foi discutido previamente. Há vários estudos com análises controvérsias, uns defendendo que os microrganismos que operam na gama mesofílica são mais robustos, podem tolerar maiores alterações dos parâmetros circundantes e requerem menor consumo de energia do que os sistemas termofílicos (Nguyen et al., 2007); e outros a defender a aplicação da gama termofílica devido aos seus maiores rendimentos de produção de biogás, TRH inferiores e garantia de higienização do produto digerido (Chavez-Vazquez and Bagley, 2002; Burke, 2001). Ultimamente têm sido implementados maioritariamente digestores a operar na gama termofílica e a tendência é para a sua crescente aplicação (Escobar e Heikkilä, 1999; ADENE, 2003).

Os sistemas com biomassa em suspensão requerem um constante desenvolvimento das bactérias do processo de DA, uma vez que as bactérias estão constantemente a ser removidas. Nos sistemas com biomassa fixa, o facto de as bactérias já estarem no sistema, não havendo necessidade da sua formação, leva à obtenção de uma maior produção de biogás (Burke, 2001).

Relativamente à **configuração dos sistemas**, são muitas as alternativas possíveis. Em particular, os reactores aplicados ao tratamento dos resíduos pecuários podem ser divididos em: digestores de lagoa coberta, digestores de fluxo-pistão, reactores perfeitamente agitados, digestores anaeróbios de contacto e digestores híbridos (Burke, 2001). Uma vez que o presente estudo aborda somente as CDA, serão descritos em pormenor somente os tipos de digestores usados nestas centrais, reactores perfeitamente agitados e de fluxo-pistão (Karellas et al., 2010).

5.5.1 Reactores Perfeitamente Agitados

Os reactores perfeitamente agitados são os digestores anaeróbios mais comuns para o tratamento de lamas e de resíduos industriais (Burke, 2001), vindo a ser operados há mais de 30 anos principalmente na Alemanha e na Itália (Bicudo e Ribeiro, 1996b). Apresentam um nível de tecnologia médio. Ocorrem

sob a forma de um tanque, o qual se pode encontrar sobre o solo ou inserido no mesmo e pode ter forma circular, quadrangular ou rectangular. O tanque possui temperatura controlada, volume constante e mistura (ver Figura 2) (Ogejo et al., 2009).

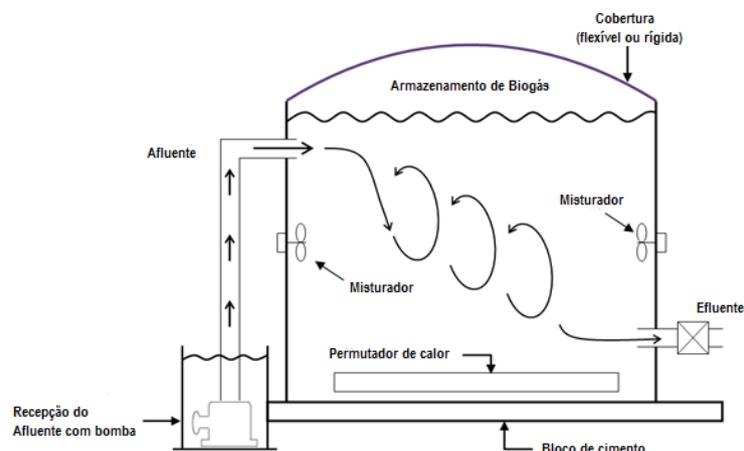



Figura 2. Digestor de mistura completa (adaptado de: US EPA, 2010)

A mistura pode ser contínua ou intermitente (Ogejo et al., 2009). Pode ser executada por intermédio de gases, agitadores mecânicos e tubos de sucção com agitadores mecânicos ou simplesmente por bombas de recirculação. Os sistemas de mistura mais eficientes em termos de energia consumida por quantidade de resíduo agitada são os agitadores mecânicos. Há evidência de que uma mistura intensa pode inibir as bactérias, o que é uma desvantagem. No entanto, a mistura intensa é necessária para manter as areias e siltes em suspensão e permite também a obtenção de conversões razoáveis dos resíduos em biogás (Burke, 2001). O reactor deve ser coberto por uma cobertura capaz de reter o biogás (Ogejo et al., 2009). As coberturas podem ser fixas ou flutuantes. As coberturas flutuantes são mais caras do que as fixas (Burke, 2001).

Os reactores em análise podem ser construídos a partir de uma grande variedade de materiais, sendo comum o betão e o aço (Burke, 2001). Os volumes requeridos por estes reactores são menores dos que os requisitados pelos digestores de lagoa coberta (US EPA, 2004). A maioria destes digestores nos Estados Unidos da América (EUA) apresenta uma forma circular e achatada, com um diâmetro superior à altura; e alguns destes digestores nos EUA e na maior na Europa apresentam uma forma ovular, com a altura muito superior ao diâmetro. A forma de ovo favorece a mistura enquanto elimina grande parte da estratificação que pode ocorrer (Burke, 2001).

A produção de biogás não é elevada, dado que a biomassa se encontra em suspensão (Burke, 2001).

A maioria dos reactores opera na gama de temperaturas mesofílica (sistemas de baixa carga). No entanto, alguns reactores de mistura completa operam na gama termofílica (sistemas de alta carga). Os digestores que operam na gama termofílica de temperatura necessitam de receber grandes concentrações de resíduos biodegradáveis de modo a que se gere o calor suficiente para que se opere nesta gama de temperatura. São, assim, indicados para o tratamento de grandes volumes de resíduos. A taxa de conversão dos resíduos em biogás é superior na gama termofílica e, consequentemente, o TRH pode ser inferior e a produção de biogás superior. Também nesta gama a energia requerida para o aquecimento é superior e não podem ser utilizados resíduos diluídos com águas de lavagem, uma vez que não se obtêm assim energia suficiente disponível para satisfazer os requisitos de calor (Burke, 2001).

Muitos dos digestores são aquecidos com recurso a permutadores de calor em espiral. Nestes permutadores de calor, um lado da espiral é alimentado com água quente e o outro lado da espiral recebe os resíduos a tratar. Os permutadores de calor em espiral têm sido bem sucedidos na transferência de calor (Burke, 2001). O facto dos digestores de mistura completa serem aquecidos permite o seu uso em qualquer clima (Ogejo et al., 2009).

Estes digestores são configurados para processar o tratamento de resíduos pecuários com uma concentração de sólidos de 2 a 10% (Ogejo et al., 2009). Operam melhor quando é realizada a diluição dos resíduos pecuários com água, como por exemplo com as águas de lavagem (US EPA, 2010).

O TRH é geralmente superior a 15 dias (Ogejo et al., 2009).

Os custos de instalação e de energia associada à mistura são elevados, os últimos especialmente se estiveram presentes areias, siltes e materiais flutuantes nos resíduos. No caso de se operar na gama termofílica de temperaturas a energia gasta para aquecimento acarreta custos adicionais (Burke, 2001). Em Balsam (2006) considera-se que estes digestores são mesmo os que apresentam os custos de instalação e operação mais elevados.

Este sistema é geralmente considerado o mais abrangente em relação ao tipo de resíduos pecuários que é capaz de tratar. Usualmente é necessário um tanque de armazenamento de efluente suplementar (Ogejo et al., 2009).

5.5.2 Digestores de Fluxo-Pistão

Os digestores de fluxo-pistão são os digestores anaeróbios mais simples (Burke, 2001). Um digestor de fluxo-pistão típico consiste num reactor coberto onde o material a ser tratado entra por uma das extremidades do reactor e o produto final sai pela extremidade oposta (Figura 3).

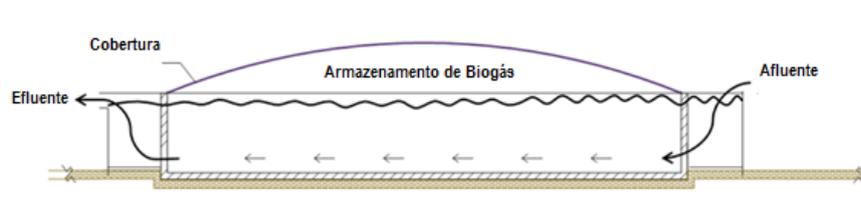



Figura 3. Digestor de fluxo-pistão horizontal (adaptado de: US EPA, 2010)

Geralmente encontram-se no interior do solo e têm a forma rectangular (Ogejo et al., 2009). A cobertura pode ser fixa ou flutuante (US EPA, 2010). O fluxo no interior do reactor move-se idealmente como um pistão, ou seja, a carga é empurrada ao longo do digestor sem se misturar com a restante massa em digestão (Pereira, 2005).

Os reactores podem ser horizontais ou verticais, sendo que é mais comum a configuração horizontal (Burke, 2001). Em geral, um digestor de fluxo-pistão horizontal apresenta um rácio comprimento:largura entre 3,5:1 e 5:1. O rácio entre a largura e a profundidade do fluido deve ser menor que 2,5:1 (Ogejo et al., 2009).

A biomassa não é retida, o que leva a produções baixas de biogás (Burke, 2001).

Podem operar na gama mesofílica ou termofílica de temperatura (Burke, 2001). Normalmente são aquecidos por um sistema de tubagem de água quente que se encontra no interior no reactor (Burke, 2001). Podem assim ser usados em qualquer clima (Ogejo et al., 2009).

Os digestores de fluxo-pistão operam melhor com resíduos com 11-13% de ST (US EPA, 2004; Balsam, 2006) e contendo uma quantidade diminuta de areias e siltes (Burke, 2001). Os sistemas de fluxo-pistão estão sujeitos a que ocorra uma estratificação dos materiais: materiais pesados (areias e siltes) sedimentam no fundo do reactor, enquanto materiais leves (fibras orgânicas) flutuam à superfície (Ogejo et al., 2009; Burke, 2001). A estratificação pode ser parcialmente evitada se se mantiver uma concentração elevada de sólidos no digestor (Burke, 2001).

O TRH neste tipo de digestores é superior a 15 dias (Ogejo et al., 2009).

Estes digestores são economicamente atractivos. No entanto, os custos de limpeza dos sólidos remanescentes no reactor, a qual deve ser efectuada periodicamente, são consideráveis, uma vez que o reactor tem de ser desligado. Também são induzidos elevados custos de operação se ocorrer estratificação devido a resíduos diluídos ou excesso de areias e siltes (Burke, 2001).

Estes reactores não podem tratar resíduos oriundos da suinicultura devido à sua falta de fibras (US EPA, 2004).

6 Caso de Estudo: Implementação de Centrais de Digestão Anaeróbia na Área Metropolitana do Porto

6.1 Boviniculturas Consideradas no Caso de Estudo

Na impossibilidade/inviabilidade de se abordarem todos os concelhos da AMP (total de 16 concelhos, designadamente Arouca, Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Oliveira de Azeméis, Porto, Póvoa de Varzim, Santa Maria da Feira, Santo Tirso, São João da Madeira, Trofa, Vale de Cambra, Valongo, Vila do Conde e Vila Nova de Gaia, de acordo com a Lei n. º 46/2008, de 27 de Agosto) devido quer a limitações temporais quer à pouca representatividade dos resíduos pecuários produzidos em alguns dos concelhos, optou-se por utilizar os concelhos que alocam o maior número de bovinos. A Tabela 12 apresenta o número de efectivos e o número de explorações para todos os concelhos da AMP, levantados no âmbito do Recenseamento Agrícola de 2009, efectuado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) (INE, 2009c).

Tabela 12. Número de efectivos e explorações de bovinos nos concelhos da AMP em 2009 (adaptado de: INE, 2009c)

Concelho	Nº Efectivos	% Efectivos	Nº Explorações	% Explorações
Vila do Conde	38584	39,1	498	14,2
Póvoa do Varzim	18188	18,4	305	8,7
Oliveira de Azeméis	7077	7,2	349	9,9
Trofa	6799	6,9	192	5,5
Maia	6316	6,4	167	4,8
Arouca	5667	5,7	716	20,4
Matosinhos	4751	4,8	143	4,1
Santo Tirso	3565	3,6	246	7,0
Santa Maria da Feira	2460	2,5	211	6,0
Valongo	1694	1,7	73	2,1
Vale de Cambra	1374	1,4	421	12,0
Gondomar	1107	1,1	84	2,4
Vila Nova de Gaia	716	0,7	94	2,7
Espinho	314	0,3	4	0,1
Porto	50	0,1	6	0,2
São João da Madeira	0	0,0	0	0,0
Total	**98662**	**100**	**3509**	**100**

Os concelhos de Vila do Conde, Póvoa do Varzim, Oliveira de Azeméis, Trofa, Maia e Arouca foram os 6 concelhos escolhidos de início, englobando 84% do efectivo bovino total. Posteriormente, aquando da recolha de dados, foram fornecidos alguns dados relativos a Santo Tirso e decidiu-se introduzir também este concelho no estudo, englobando-se assim 87,4% do efectivo bovino da AMP. Destes 7 concelhos, ficou a cargo da autora deste trabalho a obtenção e tratamento[4] dos dados dos concelhos da Póvoa do Varzim, Trofa, Maia e Santo Tirso, ficando Teixeira (2011), tese desenvolvida em paralelo, encarregue da obtenção e tratamento dos dados de Vila do Conde, Oliveira de Azeméis e Arouca.

Para a elaboração deste projecto foi necessária a obtenção dos seguintes dados para cada concelho: número de bovinos por exploração (discriminado por número de fêmeas e de machos) e respectiva morada. Também se tentou obter a distinção entre as explorações que se destinavam à produção de leite e de carne, no entanto, tal só foi fornecido para o concelho da Maia. O número de animais por exploração para cada concelho foi provido pela Direcção Geral de Veterinária do Norte (DGV Norte)[5] e os dados foram recolhidos a 22 de Março de 2011, à excepção dos relativos a Santo Tirso, os quais foram recolhidos a 23 de Maio de 2011. As moradas das explorações foram fornecidas pelas Cooperativas Agrícolas de cada concelho, com pedido de garantia de confidencialidade, pelo que serão mantidas em total sigilo. Foram muitas as dificuldades encontradas na obtenção das moradas das explorações, não tendo sido fornecidas as moradas de todas as explorações para todos os concelhos.

Inicialmente, admitiu-se incluir no estudo 95% do efectivo bovino total de cada concelho compreendido nas explorações de maior dimensão, de modo a excluir as explorações de muito pequena dimensão, nas quais dificilmente é viável a integração dos seus resíduos pecuários numa CDA. No entanto, ficou-se limitado às moradas fornecidas pelas Cooperativas, pelo que nem para todos os concelhos foi possível incorporar 95% do efectivo. Em particular, para o concelho de Arouca, uma vez que as explorações, regra geral, são de muito pequena dimensão, existindo uma grande quantidade de explorações com 1 e 2 animais, optou-se por incluir as explorações com 3 ou mais bovinos, o que corresponde a 85,5% do efectivo bovino do concelho. Para o concelho de Vila do Conde também foi necessário adoptar outro critério devido ao elevado número de explorações presente, tendo-se contabilizado as explorações com 10 ou mais animais, o correspondente a 97,3% do efectivo bovino total.

De seguida (Tabela 13), apresenta-se o efectivo bovino considerado neste estudo face ao efectivo total de cada concelho, assim como o correspondente em termos de número de explorações, de acordo com os dados da DGV Norte.

---

[4] Entende-se por tratamento dos dados a criação a atribuição de coordenados geográficas a cada exploração pecuária, determinação do tipo de produção (leite/carne) e cálculo da produção de chorume e estrume.

[5] Os totais de bovinos calculados segundo os dados fornecidos pela DGV Norte, embora muito semelhantes, diferem ligeiramente dos apresentados pelo INE relativos a 2009.

Tabela 13. Efectivo e número de explorações em estudo face ao efectivo e número de explorações total para cada concelho

Concelho	Efectivo em estudo	Efectivo total	% Efectivo em estudo	Nº Explorações em estudo	Nº Explorações total	% Explorações em estudo
Vila do Conde	37000	38011	**97,3**	393	585	67,2
Póvoa do Varzim	16236	17716	**91,6**	161	341	47,2
Oliveira de Azeméis	4726	7292	**64,8**	85	603	14,1
Trofa	822	7046	**11,7**	12	264	4,5
Maia	5505	5797	**95,0**	86	183	47,0
Arouca	5229	6118	**85,5**	412	857	48,1
Santo Tirso	836	3851	**21,7**	11	317	3,5
Total	**70354**	**34410**	**204,5**	**1160**	**1105**	**105,0**

Enquanto para os restantes concelhos está-se a abordar quase a totalidade dos bovinos, para os concelhos da Trofa e Santo Tirso a análise efectuada é muito limitada.

6.2 Contexto Geográfico da Área em Estudo

A AMP tem sede na cidade do Porto e em 2009 totalizava 1 684 872 habitantes em 1 883 km^2 de área (INE, 2009b), num total de 16 concelhos (Arouca, Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Oliveira de Azeméis, Porto, Póvoa de Varzim, Santa Maria da Feira, Santo Tirso, São João da Madeira, Trofa, Vale de Cambra, Valongo, Vila do Conde e Vila Nova de Gaia). Quase a totalidade da AMP (à excepção dos concelhos de Arouca e Oliveira de Azeméis) está inserida na região do EDM. Esta região situa-se na região Norte de Portugal e é composta pelos distritos de Viana do Castelo, Braga, Porto e parte dos distritos de Aveiro, Viseu e Vila Real, englobando um total de 48 concelhos e parte do concelho de Montalegre. Os concelhos de Arouca e Oliveira de Azeméis incluem-se na região da BL. Esta região, a qual é composta por 33 concelhos, faz parte na sua quase totalidade da região Centro, abarcando porém 3 concelhos situados na região Norte (Oliveira de Azeméis, São João da Madeira e Vale de Cambra). Quanto aos concelhos da região Centro, abarca quase a plenitude do distrito de Aveiro, grande parte do distrito de Coimbra, metade do concelho de Leiria e um concelho do distrito de Santarém (Ourém). Nas regiões do EDM e BL está inserida a BLPEDM, constituída por um conjunto de 11 concelhos: Viana do Castelo, Barcelos, Esposende, Póvoa de Varzim, Vila Nova de Famalicão, Vila do Conde, Santo Tirso, Trofa, Maia, Matosinhos e Oliveira de Azeméis, compreendendo uma área aproximada de 158 000 ha (DRAEDM et al., 2007). À excepção de Arouca, todos os concelhos em estudo inserem-se na BLPEDM. As Figuras 4 e 5 ilustram as regiões de Portugal, a AMP ao nível continental, a área em estudo e a BLPEDM.

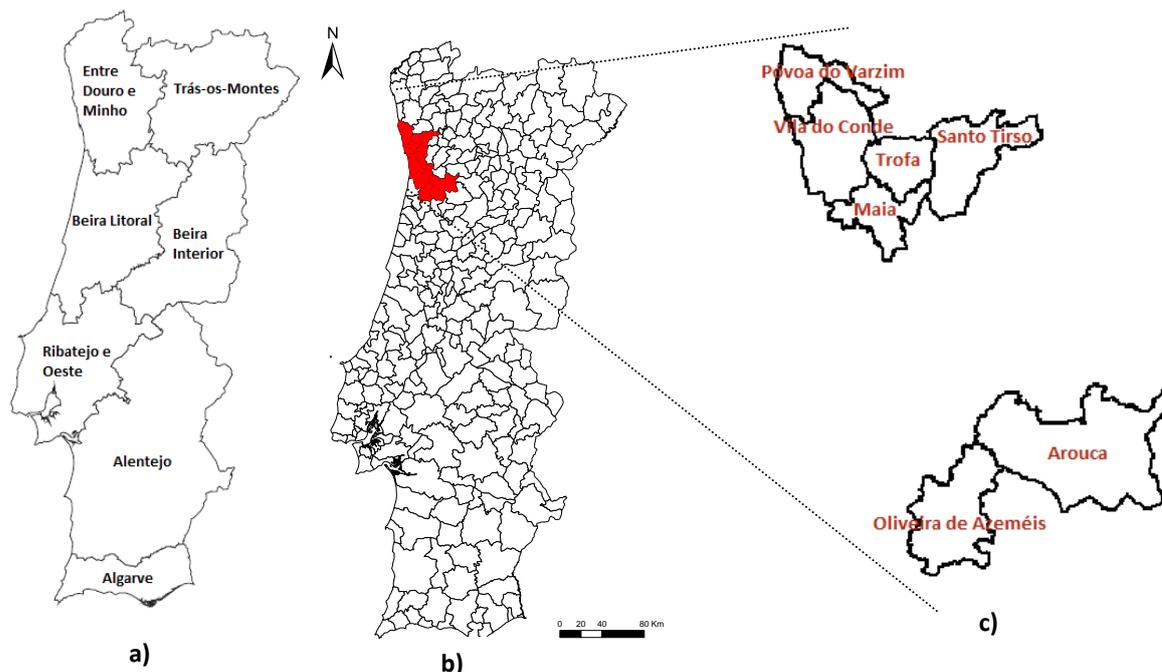



Figura 4. a) Regiões de Portugal, **b)** AMP, **c)** Área em estudo

Figura 5. BLPEDM (fonte: DRAEDM et al., 2007)

6.3 Caracterização da Bovinicultura na Área em Estudo

A área em estudo será caracterizada quanto ao tipo de produção (leite/carne), efectivo bovino, número de explorações, dimensão média das explorações, sistema de exploração (extensivo ou intensivo), tipo de instalação (livre/presa e com produção de chorume/estrume), sistema de limpeza das instalações (manual, mecânica ou arrastamento hidráulico) e frequência de limpeza das mesmas. Na inexistência de informação específica para cada concelho acerca de todos os parâmetros em análise, teve-se de recorrer às informações existentes para as regiões do EDM e BL e para a BLPEDM. A Tabela 14 reúne

toda a caracterização da área em estudo. As classificações apresentadas em termos qualitativos são subjectivas e foram realizadas com o intuito de dar uma melhor percepção da informação.

Verifica-se que as boviniculturas da área em estudo dedicam-se quase exclusivamente à produção de leite. À excepção do concelho da Maia, não foi fornecida informação em relação ao tipo de produção. Para tal, teve-se de assumir um critério. Assumiu-se que se o número de machos fosse nulo a exploração era obrigatoriamente de leite e nos casos em que o número de machos era superior a zero, se o número de fêmeas fosse igual ou superior a 5 a exploração dedicava-se à exploração de leite, caso contrário estava-se perante uma exploração de carne. Pensa-se que os erros cometidos não são muito elevados visto que as explorações de leite praticamente não apresentam machos.

Vila do Conde é de longe o concelho com maior número de bovinos e apresenta explorações em geral de muito grande dimensão. O concelho da Póvoa do Varzim apresenta um efectivo bovino elevado e explorações de muito grande dimensão. Oliveira de Azeméis e Maia têm um efectivo bovino médio e explorações de tamanho médio. Por sua vez, tem-se Arouca, que embora apresente um número de bovinos médio, apresenta um número muito elevado de explorações, sendo a sua dimensão média muito pequena. Para Trofa e Santo Tirso, uma vez que não se obteve a totalidade dos dados, o efectivo bovino é baixo. No entanto, para o concelho de Santo Tirso foram fornecidos os dados das maiores explorações, pelo que a dimensão média destas é elevada. Para a Trofa foram fornecidos dados quer de grandes quer de médias explorações, tendo-se no conjunto explorações de dimensão média.

As explorações de Vila do Conde, Póvoa do Varzim, Trofa, Maia e Santo Tirso, concelhos todos pertencentes à região do EDM, apresentam um sistema de exploração maioritariamente intensivo. Já nas explorações de Oliveira de Azeméis e Arouca, englobadas na BL, verifica-se um regime de exploração extensivo. É claramente predominante a presença de instalações com estabulação livre e com produção de chorume. A Figura 6 faz uma representação do número de explorações por tipo de exploração na área em estudo em contraste com as explorações em estudo. Em Arouca, apesar de se verificar para além da estabulação livre com produção de chorume uma presença significativa da estabulação livre com produção de estrume, de acordo com a localização das explorações efectuada verificou-se a grande maioria das boviniculturas se localiza na zona com estabulação livre com produção de chorume. Em Oliveira de Azeméis verifica-se uma distribuição entre estabulação livre com produção de estrume ou chorume e estabulação presa com produção de chorume, no entanto, é visível que as explorações em estudo concentram-se na zona onde a estabulação livre com produção de chorume é dominante. Alguns erros estão a ser cometidos, principalmente nos concelhos de Arouca e Oliveira de Azeméis, uma vez que não se teve acesso a dados numéricos, somente à ilustração.

Tabela 14. Resumo da caracterização da bovinicultura na área em estudo, por concelho

	Tipo de produção	Efectivo bovino	Nº de explorações	Dimensão média (cabeças/exploração)	Sistema de exploração (1)	Tipo de instalação (1)	Sistema de limpeza (2)	Frequência de limpeza (2)
Vila do Conde	Leite	Muito elevado 37000	Muito elevado 393	Muito elevada 94,1	Maioritariamente intensivo	Livre - chorume	Alojamento dos animais - Manual Salas de leite e ordenha - Arrastamento hidráulico	Alojamento dos animais e salas de ordenha – Diária Maternidade e enfermaria - Semanal
Póvoa do Varzim	Leite	Elevado 16236	Elevado 161	Muito elevada 100,8	Maioritariamente intensivo	Livre - chorume		
Oliveira de Azeméis	Leite	Médio 4726	Médio 85	Média 55,6	Extensivo	Livre – estrume/chorume Presa - chorume		
Trofa	Leite	Baixo 822	Muito baixo 12	Média 68,5	Maioritariamente intensivo	Livre - chorume		
Maia	Leite	Médio 5505	Médio 86	Média 64,0	Maioritariamente intensivo	Livre - chorume		
Arouca	Leite	Médio 5229	Muito elevado 412	Muito pequena 12,7	Extensivo	Livre - chorume	n.d.	n.d.
Santo Tirso	Leite	Baixo 836	Baixo 11	Elevada 76,0	Maioritariamente intensivo	Livre - chorume	Alojamento dos animais - Manual Salas de leite e ordenha - Arrastamento hidráulico	Alojamento dos animais e salas de ordenha – Diária Maternidade e enfermaria - Semanal

(1) INE, 2011 – informação para as regiões do EDM e DL

(2) DRAEDM et al., 2007 – informação para a BLPEDM

n.d. – não definido

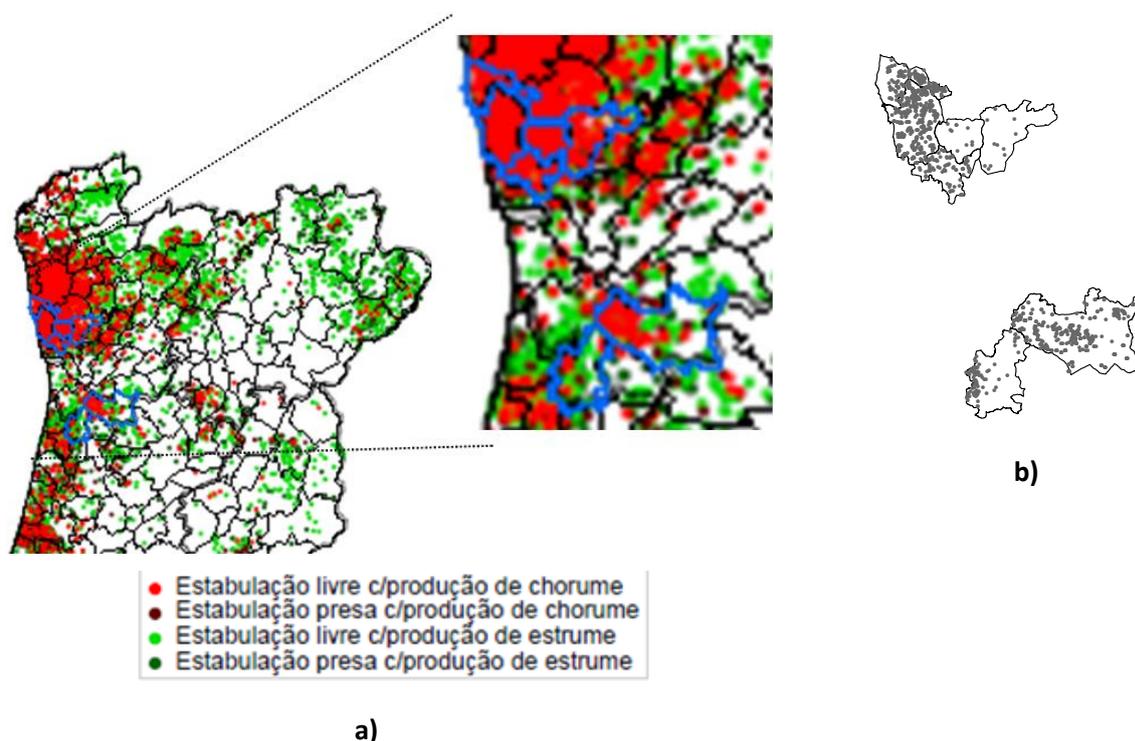



Figura 6. a) Número de exploração por tipo de estabulação (adaptado de: INE, 2011), **b)** Representação das explorações em estudo

Relativamente ao sistema de limpeza das instalações e sua frequência, teve-se por base os dados da BLPEDM, pelo que não há dados relativos ao concelho de Arouca. Predomina a remoção manual dos chorumes/estrumes no alojamento dos animais (43% das explorações da BLPEDM), sendo 18% efectuada com recurso a pás de tractor e 15% a pás de arrasto. Nas salas de leite e de ordenha é notoriamente mais utilizado o arrastamento hidráulico (85% das explorações da BLPEDM). O alojamento dos animais é limpo diariamente em 78% das instalações (as restantes realizam a limpeza semanalmente) e as salas de ordenha são em 99% das explorações sujeitas a limpeza diária. Áreas menos usadas, como a maternidade e a enfermaria, são limpas apenas semanalmente (DRAEDM et al., 2007).

6.4 Caracterização dos Resíduos Pecuários produzidos na Área em Estudo

Como se viu no subcapítulo anterior, a estabulação na área em estudo é quase exclusivamente realizada com produção de chorume. Assim sendo, ir-se-á admitir somente a recolha e tratamento do chorume. Este efluente, para além de ser claramente o mais produzido nas explorações em estudo, é também o que acarreta mais problemas aos produtores. As instalações têm de estar providas de tanques de armazenamento próprios que permitam a acumulação deste efluente pelo tempo necessário a dar cumprimento às épocas apropriadas para a sua aplicação e quantidades usadas de acordo com a legislação em vigor, o que geralmente não se verifica. A má gestão deste efluente está fortemente associada à libertação de maus odores, contaminação das águas subterrâneas, eutrofização de águas doces superficiais, estragos em algumas culturas (Bicudo e Ribeiro, 1996a).

O cálculo do chorume produzido na área em estudo foi realizado com base na Tabela 4. Os valores obtidos não incluem a adição de águas sujas. A quantidade de águas sujas é fortemente afectada pelo tipo de lavagem e pela precipitação. A precipitação tem influência nas instalações a céu aberto e, uma vez que estas praticamente não são usadas na área em estudo, a sua influência é reduzida. Acerca do sistema de limpeza utilizado sabe-se que nas explorações em estudo não se utilizam sistemas com uso de água sob pressão na limpeza dos alojamentos dos animais, mas nas salas de ordenha é predominantemente usado o arrastamento hidráulico. Não se tem conhecimento do destino que é dado a esta água utilizada. É necessário proceder a um levantamento exacto do destino que é dado às águas de lavagem e, assim, determinar qual a composição e quantidade de chorume rigorosas. Dada a falta de informação optou-se por não se incluir as águas de lavagem na composição dos chorumes produzidos. No entanto, está-se ciente que no caso de estas águas serem incorporadas culminará numa produção de efluente a tratar bastante superior ao tido em consideração e bem mais diluído. Esta é uma forte limitação do presente trabalho.

As quantidades de chorume produzidas em cada concelho por ano e por dia são as apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15. Produção de chorume na área em estudo, por concelho

	Vila do Conde	Póvoa do Varzim	Maia	Oliveira de Azeméis	Arouca	Santo Tirso	Trofa	Total
Produção de chorume (m^3/ano)	799 531	358 053	108 630	104 067	103 526	18 613	17946	149 2419
Produção de chorume (m^3/dia)	2190	981	298	285	284	51	49	4089

O concelho de Vila do Conde tem um grande destaque, produzindo no total cerca de 800 000 m^3 de chorume por ano. Segue-se a Póvoa do Varzim com uma produção de aproximadamente 360 000 m^3 de chorume anuais. Maia, Oliveira de Azeméis e Arouca têm uma produção anual de chorume aproximada, de cerca de 100 000 m^3. Santo Tirso e Trofa têm a produção mais baixa, dado que se está a considerar apenas uma pequena parte das explorações, apresentando apenas cerca de 18 000 m^3/ano, em cada concelho. No total, são produzidos anualmente nos concelhos em estudo cerca de 1 500 000 m^3 de chorume.

6.5 Número e Localização das Centrais de Digestão Anaeróbia

6.5.1 Obtenção das Coordenadas Geográficas das Boviniculturas

Para a obtenção das coordenadas geográficas das boviniculturas a partir das moradas facultadas, introduziram-se estas no *Google Earth*. Surgiram algumas dificuldades/problemas e, em alguns casos, foi necessário proceder-se a algumas considerações (Anexo 10).

6.5.2 Determinação de Áreas Inconvenientes, Convenientes e Favoráveis para a Localização das Centrais de Digestão Anaeróbia

Recorreu-se ao *software* ArcGIS 9.3®. Este *software* é um Sistema de Informação Geográfica que permite a análise, representação e compreensão de informação geográfica, combinando um conjunto de informações dispostas por *layers*.

Os dados necessários à implementação do problema em análise foram fornecidos pelo Departamento de Engenharia Civil da FEUP, à excepção da rede hidrográfica, a qual foi retirada do Instituto Geográfico do Exército. A maioria dos dados fornecidos pertence ao Atlas da Grande Área Metropolitana do Porto (Pinho, 2009).

6.5.2.1 Determinação das Áreas Inconvenientes

Numa primeira fase, determinaram-se quais eram as áreas inconvenientes para a implementação das CDA, ou seja, as áreas onde não é aconselhada a construção destas centrais. Para tal, aplicaram-se os seguintes critérios (Tabela 16):

Tabela 16. Critérios para a determinação das áreas inconvenientes

1 º critério **Isolamento**	As povoações e áreas residenciais têm de se situar a uma distância mínima das CDA, de modo a serem protegidas principalmente do arrastamento de odores. As medidas tomadas neste sentido foram: • Exclusão das áreas urbanizadas e urbanizáveis, designadas a partir de agora por áreas urbanas, as quais correspondem às áreas urbanas consolidadas e às áreas com urbanização em curso, urbanização programada ou passíveis de serem urbanizadas (Pinho, 2009). Introdução de um *buffer* (área de influência) de 200 m à volta destas áreas onde também é inconveniente a construção. A distância adoptada teve por base o PDM de Oliveira de Azeméis, o qual diz: "É interdita a execução de quaisquer edificações a menos de 200 m dos limites das Instalações de Recolha e Tratamento de Lixos, salvo em casos justificados tecnicamente". Nos PDM dos restantes concelhos não é imposta nenhuma distância; • Exclusão das áreas relativas aos parques urbanos (parques verdes urbanos).
2 º critério **Ordenamento Territorial**	A Reserva Ecológica Nacional (REN) é uma estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e susceptibilidade perante riscos naturais, são objecto de protecção especial. Na REN está interdita a construção e escavação, entre outros usos e acções (DL nº 166/2008), e, deste modo, não é possível a implementação de CDA. A Reserva Agrícola Nacional (RAN) é o conjunto das áreas que em termos agro-climáticos, geomorfológicos e pedológicos apresentam maior aptidão para a actividade agrícola. As utilizações não agrícolas de áreas integradas na RAN só podem verificar-se quando não exista alternativa viável fora das terras ou solos da RAN. A construção de instalações ou equipamentos para produção de energia a partir de fontes de energia renováveis pode ser permitida no caso de não haver alternativa possível (DL nº 73/2009). Neste sentido, as medidas tomadas foram: • Exclusão da REN; • Exclusão da RAN, admitindo-se, no entanto, englobar posteriormente esta área no caso de não haver alternativas possíveis.
3 º critério **Hidrografia**	É necessário excluir as linhas de águas superficiais, de modo a não cometer o erro de construção das CDA sobre os rios. É também necessário inserir áreas de protecção às linhas de água. A REN já inclui áreas de protecção de 50 e 100 m para as linhas de águas de acordo com a sua importância (DL nº 166/2008). Procedeu-se a: • Exclusão da rede hidrográfica, incluindo rios principais e secundários, ribeiras, limites de lagoas, áreas de sapal e bacias hidrográficas.
4 º critério **Topografia**	As áreas com depressões naturais acentuadas onde os trabalhos de construção, operação e acessos são dificultados devem ser excluídas. A medida adoptada neste sentido foi: • Exclusão das áreas com declive superior a 3%.

Para Oliveira de Azeméis não foi possível ter acesso aos *layers* com os parques urbanos nem com a topografia. À excepção destes critérios, foram aplicados todos os critérios descritos anteriormente para todos os concelhos em estudo.

6.5.2.2 Determinação das Áreas Convenientes

Após a determinação das áreas inconvenientes, as áreas restantes correspondem às áreas convenientes (exceptuam-se alguns cursos de água que possam não ter sido considerados e limitações relativas à topografia), ou seja, áreas onde a localização das CDA é permitida. Estas áreas incluem: áreas de transformação condicionada, áreas florestais e áreas industriais.

6.5.2.3 Determinação das Áreas Favoráveis

As áreas potencialmente favoráveis à implementação das CDA, ou seja, aquelas onde deve ser dada prioridade à construção das centrais, foram definidas pelo seguinte critério (Tabela 17):

Tabela 17. Critério para a determinação das áreas favoráveis

Áreas industriais	As áreas designadas para uso industrial são as áreas onde deve ocorrer preferencialmente a construção de todo os tipo de actividade industrial, incluindo as CDA. A análise da localização das áreas industriais relativamente aos principais eixos rodoviários de circulação aponta para a existência de uma lógica de localização que privilegia as localizações mais próximas dos referidos eixos (Pinho, 2009), o que reforça a sua potencialidade. A medida adoptada neste sentido foi: • Inclusão das áreas industriais.

Foi necessário interceptar as áreas favoráveis com as áreas convenientes de modo a se obter as áreas favoráveis onde realmente é possível construir. Foi também necessário sobrepor as cartas militares às áreas obtidas, de modo a verificar se nas zonas industriais consideradas não existiam já indústrias implementadas, e serviram também para validar a aplicação de critérios efectuada.

No Anexo 11 encontra-se uma representação das áreas inconvenientes, convenientes e favoráveis obtidas. Verifica-se que os critérios aplicados às áreas inconvenientes excluem uma vasta área. No entanto, ainda restam bastantes áreas convenientes e destas algumas são mesmo favoráveis.

Na determinação das áreas mais favoráveis acrescentou-se um critério relativo à proximidade às fontes geradoras de resíduos, o qual se optou por considerar à parte uma vez que a sua representação no mapa difere da dos restantes critérios.

A proximidade às fontes geradoras de resíduos é de muita importância, na medida em que permite a minimização do transporte e dos custos económicos e ambientais a este associados. Recorreu-se à utilização da função de densidade *Kernel Density* do ArcGIS 9.3®. Esta ferramenta calcula uma magnitude por unidade de área a partir das quantidades de um dado fenómeno registadas em cada local, o que neste caso correspondeu à quantidade de chorume produzida por cada bovinicultura, e usando uma função *Kernel* ajusta uma superfície suavemente cónica aos pontos. Obtêm-se, assim, núcleos com diferentes densidades de produção de chorume. Os locais abrangidos pelo núcleo com maior densidade correspondem às localizações mais favoráveis à implementação das CDA, ou seja, os locais que estão mais próximas das boviniculturas com maior produção de chorume.

6.5.2.4 Determinação do Número de Centrais de Digestão Anaeróbia

Considerou-se a determinação do número de CDA a implementar dependente de dois factores:

- Quantidades de resíduos a serem recolhidos e tratados e localização das suas origens;
- Capacidade de tratamento das CDA.

Será admitido que todo o chorume produzido nas boviniculturas é passível de ser recolhido e enviado para tratamento nas CDA. A aplicação da função *Kernel Density* descrita anteriormente permite representar a distribuição da densidade de chorume ao longo do território (m^3 de chorume por ha), associando, assim, as quantidades de chorume a tratar e a localização das suas origens.

Uma vez que os concelhos de Oliveira de Azeméis e Arouca se encontram distantes dos restantes concelhos (distância em linha recta entre a extremidade inferior da Maia e a extremidade superior de Arouca de cerca de 18 km), será sempre necessária a implementação de pelo menos 2 CDA, uma destinada aos concelhos de Oliveira de Azeméis e Arouca e outra para os restantes concelhos. Aplicou-se a função *Kernel Density* a cada conjunto destes concelhos em separado. Verifica-se que a maior produção de chorume e número de explorações estão presentes nos concelhos de Vila do Conde e Póvoa do Varzim. No total estes 2 concelhos geram 1 157 584 m^3/ano de chorume. A Maia, Trofa e Santo Tirso produzem em conjunto 145 188 m^3/ano de resíduos. Oliveira de Azeméis e Arouca produzem anualmente um total de 207 593 m^3 de chorume. Ao se adoptar uma localização para uma CDA no núcleo de maior densidade da função *Kernel* aplicada aos concelhos mais a norte e se aplicar um raio de actuação de 15 km (raio máximo até ao qual o transporte de resíduos é geralmente considerado viável segundo Santos (2005) e ADENE (2003)) verifica-se que tal culmina na necessidade

de implementação de uma CDA com capacidade para tratamento de pelo menos cerca de 1 250 000 m^3/ano, englobando quase a totalidade dos resíduos produzidos nestes concelhos (no total tem-se 1 302 772 m^3/ano) e quase a totalidades das explorações (cerca de 600 de 663). Relativamente aos concelhos de Oliveira de Azeméis e Arouca, no total estes dois concelhos englobam 207 593 m^3/ano de chorume e admitindo uma CDA no núcleo de maior densidade de Oliveira de Azeméis, a aplicação de um raio de 15 km leva à inclusão de cerca de 160 000 m^3/ano. No Anexo 12 estão ilustradas estas representações.

Dada a grande quantidade de resíduos a tratar nos concelhos mais a norte, especialmente produzidos por Vila do Conde e Póvoa do Varzim, a capacidade máxima das centrais é uma questão muito pertinente no processo de decisão do número de centrais a implementar. No entanto, este assunto pode gerar alguma controvérsia. A dimensão máxima encontrada nas instalações europeias situa-se geralmente entre 100 000 e 200 000 t/ano de resíduos (Al Seadi, 2000; Santos, 2005; ADENE, 2003). Este limite é ditado principalmente por dificuldades logísticas, maioritariamente associadas ao transporte de resíduos, e de manuseamento dos resíduos, de acordo com Santos (2005) e ADENE (2003), sendo esta informação fornecida nomeadamente numa proposta de um consórcio constituído pelas empresas ZAGOPE, HESE Umwelt, Krieg & Fischer Ingenieure, Utambiente e Tech-M5. O uso de um número muito reduzido de CDA de grande capacidade pode ser problemático no caso de ocorrer uma falha no processo, não se apresentando soluções alternativas para o tratamento dos resíduos. É certo que o uso de digestores anaeróbios a funcionar em paralelo pode reduzir o risco de falha, mas há também a possibilidade de ocorrerem problemas noutras etapas do processo. Por outro lado, o limite de capacidade apresentado encontra-se influenciado pelas características da produção de resíduos (quantidades e localização das fontes geradoras) das regiões onde estão implementados. Por exemplo, na Dinamarca a produção de resíduos pecuários não é tão concentrada como na AMP (Al Saedi, 2000). Assim, o limite de construção de CDA com capacidade máxima de 200 000 t/ano de resíduos não deve ser considerado intransponível. O investimento inicial e os custos de operação das CDA são sujeitos a economias de escala (Nielsen e Hjort-Gregersen, 2002; Baldwin et al. 2009), pelo que pode ser economicamente viável a construção de centrais de maior escala.

Na falta de informação, neste estudo considerar-se-á a recepção de um máximo de cerca de 200 000 t/ano de chorume, não se correndo assim o risco implementação de um mega projecto de carácter experimental, possibilitando no futuro adaptar a capacidade das CDA à introdução de resíduos de outro tipo no processo (estrumes, resíduos das indústrias alimentares, lamas de ETARs, entre outros) e levando à obtenção de distâncias de transporte não exageradamente elevadas, com complexa logística associada.

Note-se que a rigor dever-se-ia proceder a uma análise de cenários com a consideração de vários números de CDA a implementar e determinar o cenário que culmina na minimização das distâncias de

transporte face aos custos de investimento, operação, questões de logística, segurança, etc.. Esta análise deve ser levada a cabo por parte de uma equipa de projecto devidamente conhecedora das características de construção civil, funcionamento do processo, electricidade, segurança, logística, etc. Está fora do âmbito do presente trabalho e, de qualquer modo, não se teve acesso à rede viária, a qual é essencial para esta análise.

As considerações realizadas levam à implementação de 8 CDA de modo a se proceder ao tratamento de todos os resíduos produzidos. Nos concelhos de Vila do Conde e Póvoa do Varzim onde a produção de resíduos é deveras superior são necessárias 6 CDA. Agruparam-se as freguesias vizinhas entre si na escolha de quais as explorações a fornecer resíduos para uma dada central. Os concelhos da Maia, Trofa e Santo Tirso terão uma CDA só para si e os concelhos de Oliveira de Azeméis uma outra central.

6.5.2.5 Determinação da Localização das Centrais de Digestão Anaeróbia e sua Caracterização

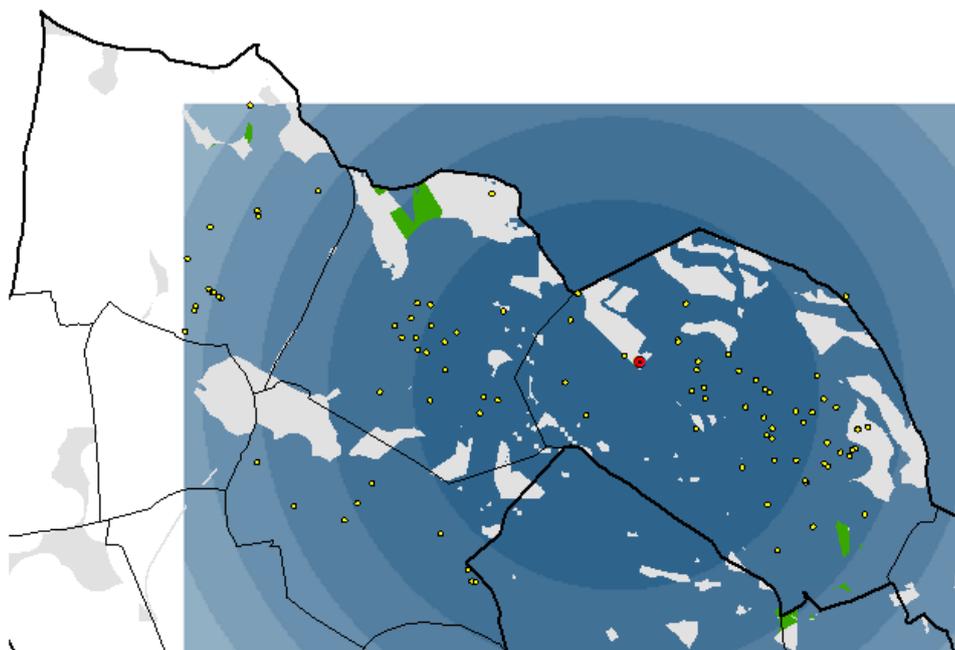
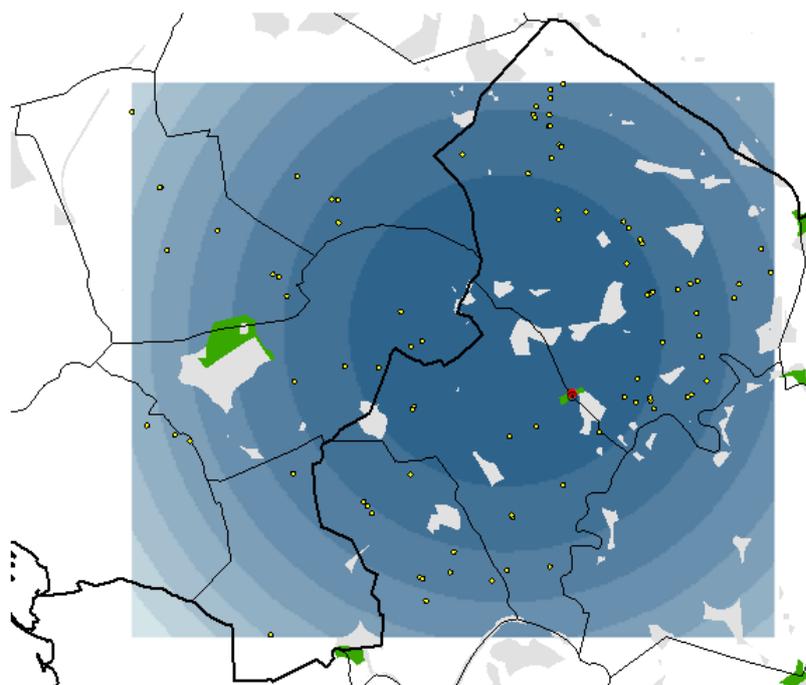
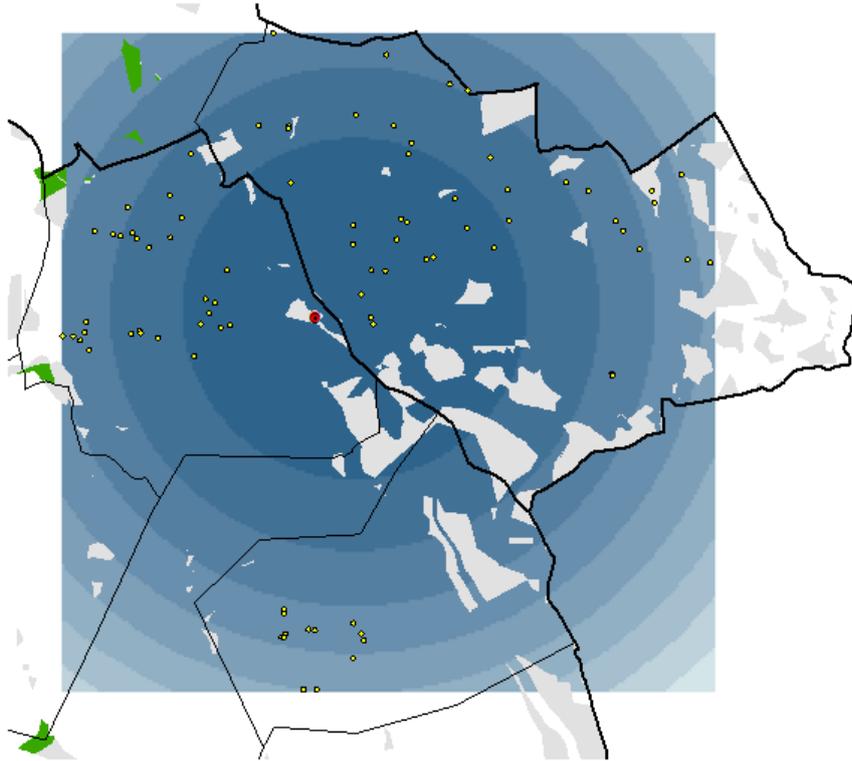
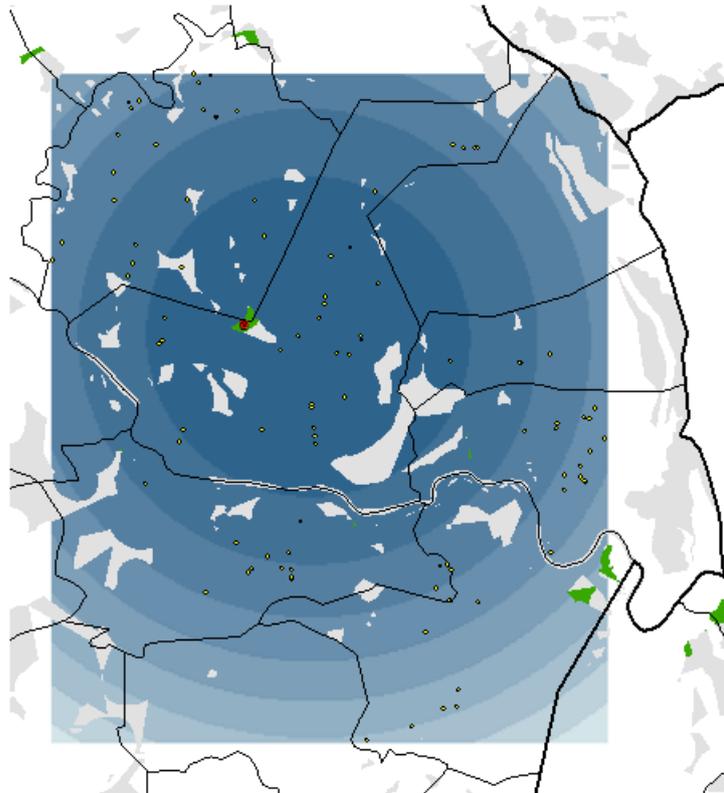
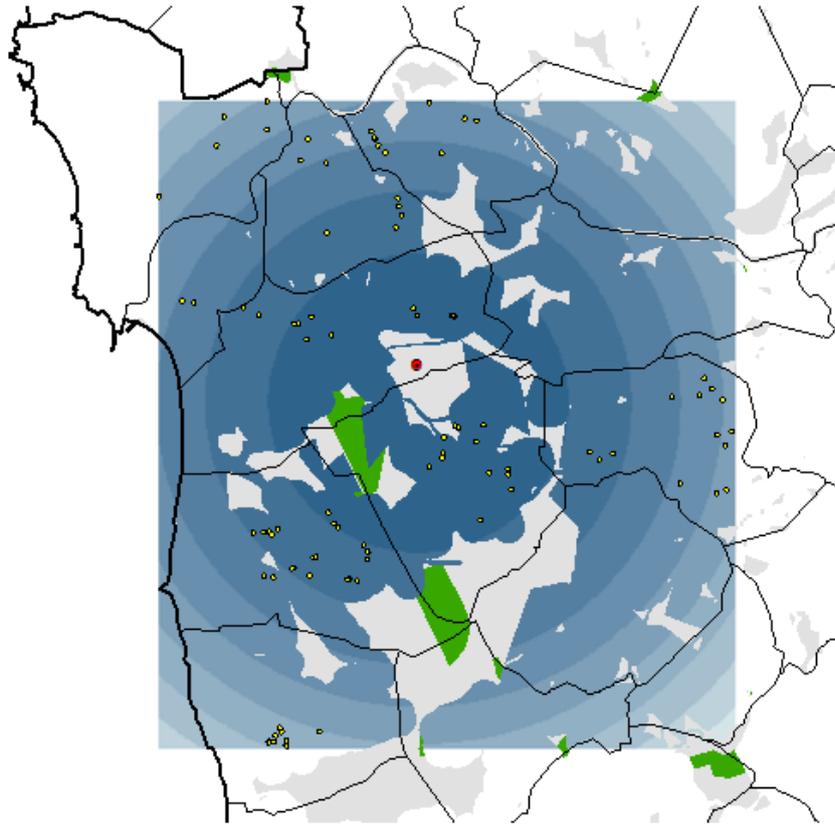
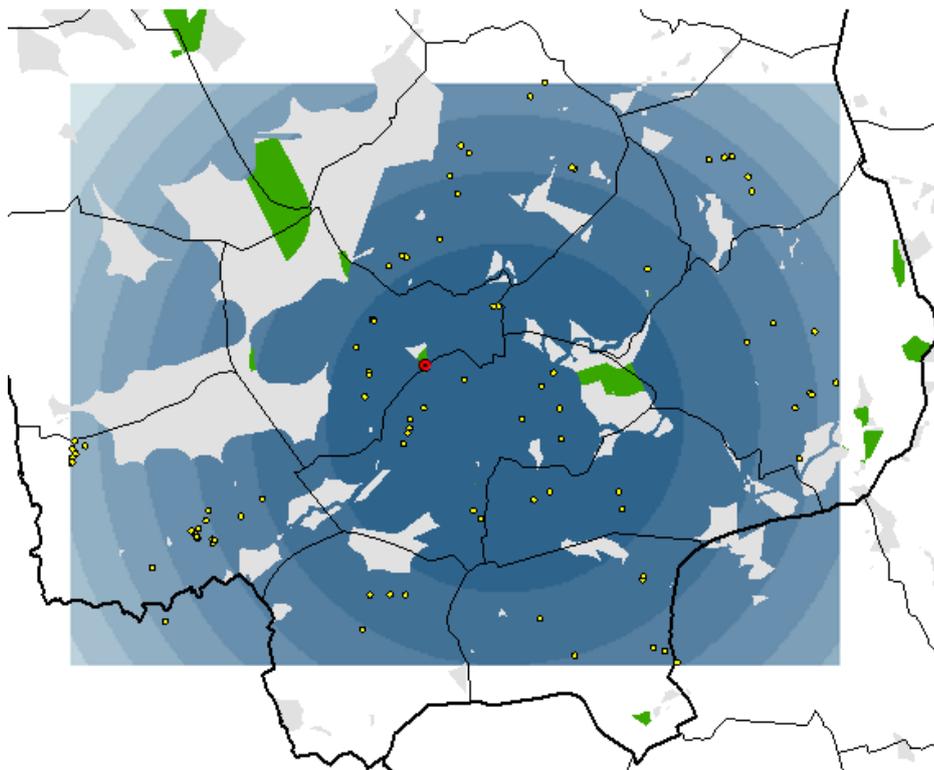
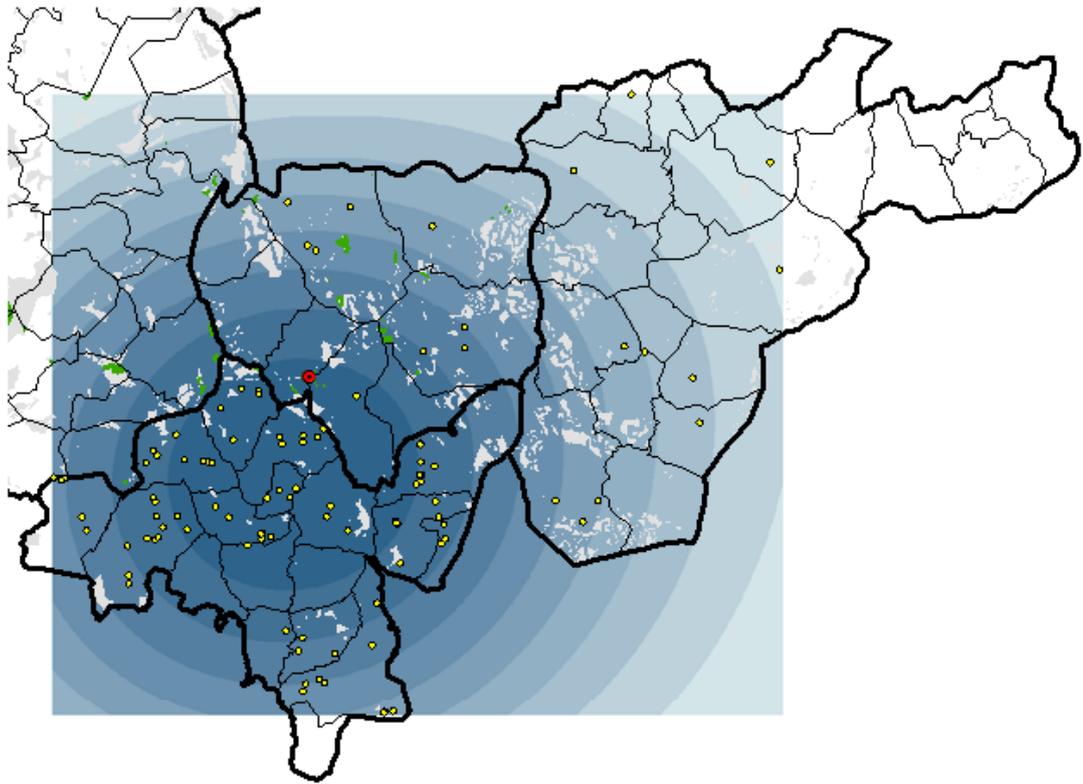
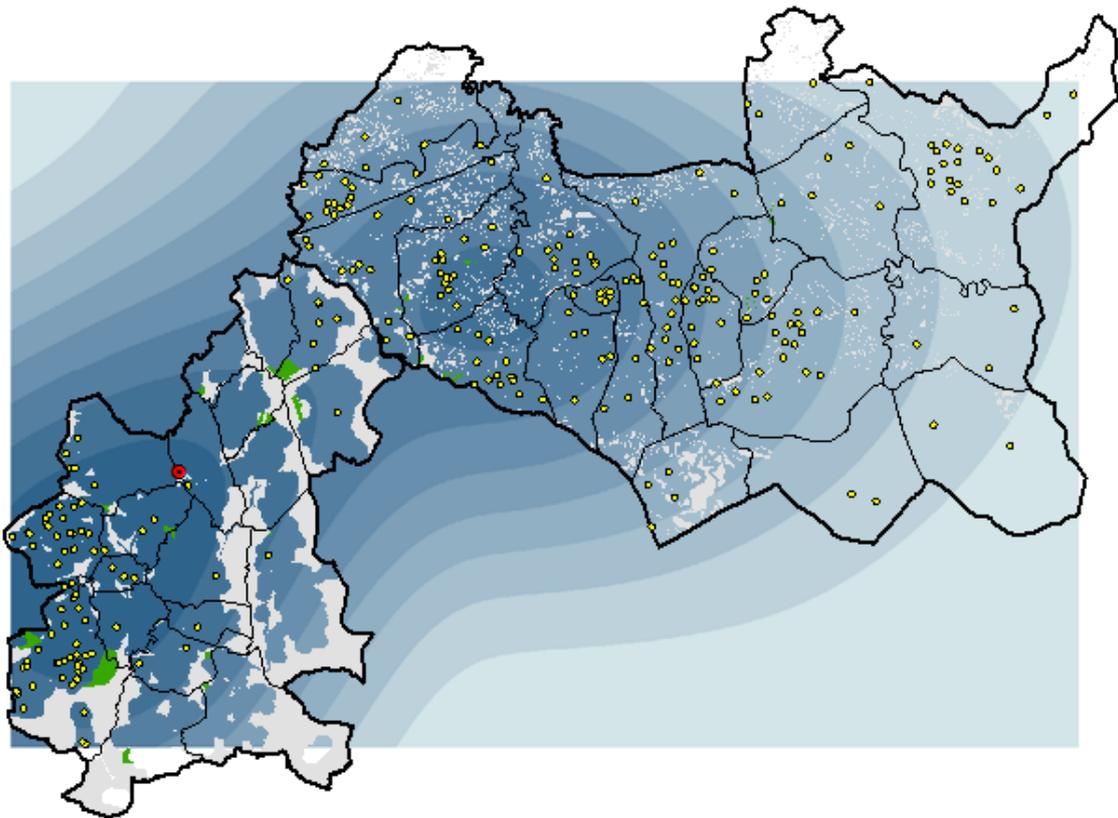
Criou-se uma função de densidade *Kernel* para cada conjunto de explorações que irão fornecer o chorume a uma dada central. A Figura 7 ilustra a localização das CDA, apresentando os núcleos de densidade *Kernel*, as áreas favoráveis e convenientes, a localização das boviniculturas e os contornos das freguesias e concelhos.

Deu-se preferência à localização das centrais em áreas favoráveis que se encontrem dentro do núcleo de maior densidade. No caso de não haver áreas favoráveis disponíveis no núcleo de maior densidade (CDA1 e CDA3), optou-se por áreas convenientes. Na CDA5 embora seja visível uma área favorável no núcleo de maior densidade, ao se sobrepor a carta militar respectiva verificou-se que essa área industrial já está ocupada. Sendo assim, optou-se pela área conveniente mais central.

Na CDA7 (Maia, Trofa e Santo Tirso) não há necessidade de se agruparem freguesias, podendo ser escolhido o local tal como anteriormente (dentro do núcleo de maior densidade e preferencialmente numa área favorável) mas aplicando-se um raio de abrangência de modo a determinar as boviniculturas a incluir. Aplicou-se um raio de 15 km (raio máximo viável frequentemente indicado por estudos já realizados).

Na escolha do local para a implementação da CDA8 os critérios utilizados diferiram um pouco, uma vez que se está a lidar com dois núcleos de maior densidade em locais distintos, um em Oliveira de Azeméis e outro em Arouca. Tinha-se 3 opções: localizar a CDA no núcleo de Oliveira de Azeméis, no núcleo de Arouca ou na zona entre estes 2 núcleos. Uma vez que o núcleo de Oliveira de Azeméis apresenta maior dimensão, isto devido ao facto de as explorações em Arouca, embora sejam em elevado número, serem de muito pequena dimensão e muito dispersas ao longo do território, optou-se pela localização da CDA

no núcleo de Oliveira de Azeméis. Dentro deste núcleo aproximou-se a CDA o mais possível de Arouca e numa área favorável. Posteriormente, à semelhança da CDA7, aplicou-se um raio de 15 km.

Teve-se em atenção a área disponível para a implementação, de modo a não se optar por uma área com dimensões insuficientes. De acordo com a área estimada na secção 7.2, deve ser escolhido um terreno com pelo menos 1 ha. Praticamente todas as áreas favoráveis e convenientes disponíveis apresentam mais do que esta área e todas as áreas escolhidas são superiores a 1 ha.

a) CDA1

b) CDA2

c) CDA3

d) CDA4

e) CDA5

f) CDA6

g) CDA7

h) CDA8

Figura 7. Localização das CDA **a)** CDA1, **b)** CDA2, **c)** CDA3, **d)** CDA4, **e)** CDA5, **f)** CDA6, **g)** CDA7, **h)** CDA8

A Tabela 18 caracteriza as CDA determinadas quanto à sua localização, quantidade de chorume afluente e distância máxima CDA-explorações. No Anexo 13 apresenta-se uma caracterização mais exaustiva.

Tabela 18. Características das CDA

	Localização	Chorume (m^3/ano)	Distância máxima CDA- explorações (km)
CDA1	Rates (Póvoa do Varzim)	195 324	6
CDA2	Rio Mau (Vila do Conde)	194 095	6
CDA3	Arcos (Vila do Conde)	192 332	4
CDA4	Bagunte (Vila do Conde)	196 248	5
CDA5	Árvore (Vila do Conde)	194 482	5
CDA6	Modivas (Vila do Conde)	183 789	5
CDA7	Muro (Trofa)	141 483	15
CDA8	São Roque (Oliveira de Azeméis)	157 658	15

Em todas as centrais da Póvoa do Varzim e/ou Vila do Conde (CDA1, CDA2, CDA3, CDA4, CDA5, CDA6) a aplicação de um raio de 4, 5 ou 6 km permite contemplar todas as boviniculturas, o que contrasta com as centrais da Maia, Trofa e Santo Tirso (CDA7) e Oliveira de Azeméis e Arouca (CDA8), onde o raio de aplicação é de 15 km.

À excepção das CDA7 e CDA8, o número de explorações abrangidas por cada central ronda as 90 explorações. A CDA7 abrange 107 explorações, número este que deveria ser bem superior no caso de se ter dados para todas as explorações da Trofa e Santo Tirso. Na CDA8 o número é de boviniculturas é muito elevado, 231 boviniculturas. Este número elevado de explorações deve-se ao grande número registado em Arouca, 412 explorações na área em estudo.

As CDA da Póvoa do Varzim e/ou Vila do Conde recebem um total de chorume de aproximadamente 200 000 m^3/ano, o correspondente ao total de chorume produzidos pelas freguesias abrangidas. Nas CDA7 e CDA8 a aplicação de uma distância máxima de 15 km não permite abranger todas as explorações. Na CDA7 ficam apenas 2 explorações de fora, abrangendo 97,4% do total de chorume produzidos nos 3 concelhos, 157 657 m^3/ano. Na CDA8 são contempladas todas as explorações de Oliveira de Azeméis, 85, no entanto, ficam de fora 266 boviniculturas de Arouca, sendo contemplado 75,9% do chorume produzido nos 2 concelhos, 157 657 m^3/ano. Em Arouca, seria de muita utilidade a realização de um estudo pormenorizado da viabilidade do tratamento dos resíduos, dado o grande número de explorações de reduzida dimensão e difícil acesso, devido aos terrenos declinados que se verificam.

7 Viabilidade Técnica

Na análise à viabilidade técnica determinar-se-ão as principais unidades constituintes das instalações das CDA e fornecer-se-ão indicações das suas características mais relevantes, assim como dos volumes e áreas ocupados. Não se pretende entrar em pormenores de dimensionamento. Será também abordado o transporte dos resíduos desde as boviniculturas até às CDA.

Nesta secção encontra-se também exibida a produção de biogás, energia proveniente deste e sua conversão em energias eléctrica e térmica.

A quantidade de chorume recebida pelas 8 CDA não é igual. Enquanto as CDA 1, 2, 3, 4, 5 e 6 recebem uma quantidade de chorume anual muito próxima dos 200 000 m^3, as CDA 7 e 8 recebem quantidades de chorume na ordem dos 150 000 m^3/ano. No entanto, devido às limitações que este estudo apresenta em relação à estimativa das quantidades de resíduos a tratar (é considerada apenas a recolha de chorume e é assumido que este não é alvo de uma diluição com águas de lavagem; considera-se que em todas as instalações se procede à recolha do chorume, admitindo-se assim que todo o chorume produzido é recolhido; não se considera a recolha e tratamento de co-substratos produzidos por explorações pecuárias de outros tipos, indústrias ou ETARs) ir-se-á admitir que todas as CDA serão dimensionadas para processar 200 000 m^3/ano de chorume (218 000 t/ano[6]).

7.1 Transporte dos Resíduos entre as Boviniculturas e as Centrais de Digestão Anaeróbia

O transporte dos chorumes será efectuado por estrada em tanques de vácuo, com tracção proporcionada por camiões. Está presente uma grande variabilidade das produções de chorumes entre as várias explorações, desde cerca de 1 m^3/dia de chorume nas explorações mais pequenas até aproximadamente 30 m^3/dia nas grandes explorações. Admitir-se-á que a capacidade dos camiões cisterna é de 30 m^3. Para as explorações maiores será necessário um camião cisterna exclusivo, enquanto para explorações mais pequenas é possível que um camião recolha os resíduos de diversas explorações, sendo necessário traçar o melhor percurso a efectuar. Na totalidade das 8 CDA será necessário recorrer ao enchimento de 140 cisternas de 30 m^3 por dia. Poderá ser equacionada uma rede de transportes exclusiva.

[6] Admitindo-se uma densidade do chorume de 1090 kg/m^3.

Sabe-se que a recolha dos chorumes nas boviniculturas é realizada diariamente, que há necessidade de uma contínua alimentação dos resíduos ao processo e que é aconselhado o seu tratamento o mais depressa possível de modo a evitar a sua degradação, pelo que será admitido que os chorumes produzidos são transportados para as CDA diariamente. Ao fim-de-semana há a possibilidade de as empresas de transporte não realizarem a recolha dos resíduos e esta pode também não ser efectuada por todos os produtores. Assim sendo, equaciona-se a realização da recolha diária dos resíduos nos 5 dias úteis da semana e que ao fim-de-semana estes não são transportados, levando a que à Segunda-feira se receba os resíduos de 3 dias.

As unidades de transporte deverão estar equipadas com bombas de vácuo ou outras para carregamento do efluente na cisterna. Dependendo das características da bomba, as operações de carga e descarga poderão ser, por vezes, os passos limitantes de todo o processo de transporte dos resíduos (ADENE, 2003).

A Portaria nº 631/2009, de 9 de Junho, obriga a que todos os veículos de recolha dos efluentes pecuários sejam estanques e cobertos. É necessário também que os veículos se mantenham em bom estado de limpeza, sendo limpos, lavados e desinfectados após cada utilização. Poderá ser equacionada a lavagem dos veículos nas instalações.

É de referir que não se equaciona a instalação de sistemas de conduta e sistemas de bombagem destes efluentes, visto que tal só se justifica nos casos em que a origem dos resíduos está próxima da central e é necessário que as condições topográficas (variações e declive acumulado) e de terreno (terra ou rocha) permitam uma instalação e operação eficiente e económica do sistema.

7.2 Instalações das Centrais de Digestão Anaeróbia

A Figura 8 apresenta um diagrama com as principais unidades constituintes das CDA.

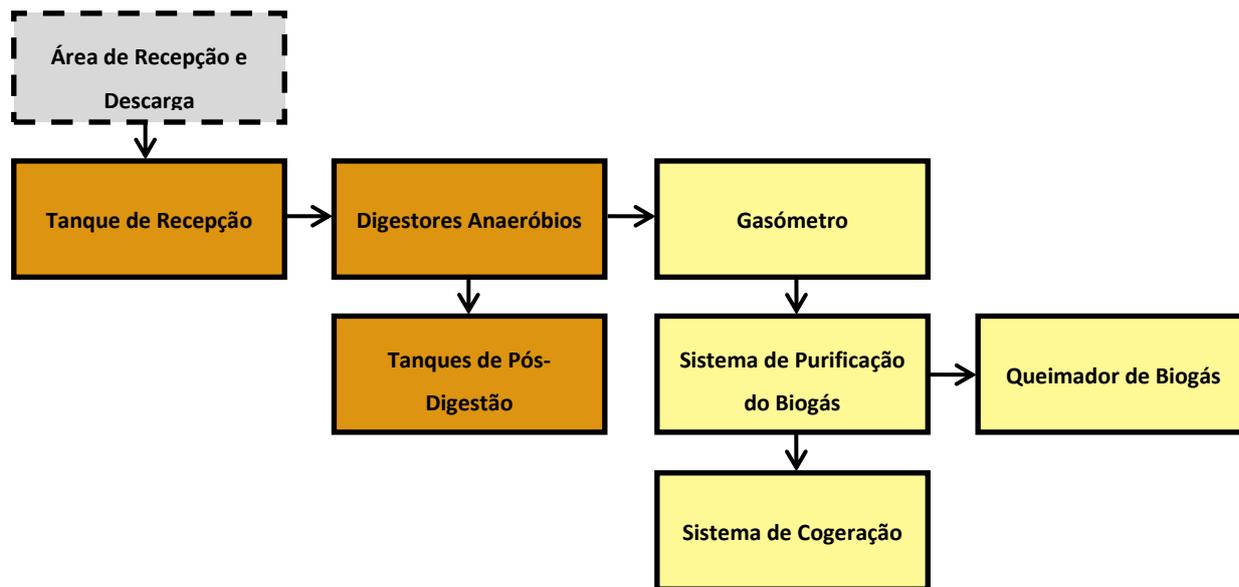



Figura 8. Instalações das CDA

7.2.1 Área de Recepção e Descarga

Uma área de recepção e descarga dos resíduos será considerada, no sentido de facilitar estas operações e, ao mesmo tempo, permitir o controlo e mitigação de odores daí resultantes. Esta área deverá ser composta por um edifício implantado numa zona da instalação onde seja facilitado o acesso e manobras aos veículos pesados. Será confinada e dotada de portas de isolamento automáticas, adequadas ao acesso das viaturas. A descarga só ocorre após o fecho da porta exterior. A taxa de renovação do ar é elevada e a área encontra-se em depressão, de modo a minimizar os maus odores. Será assumida uma área de recepção e descarga de 700 m^2.

7.2.2 Tanque de Recepção

Os tanques de recepção destinam-se à recepção e gestão dos resíduos afluentes à instalação. Permitem regularizar o caudal alimentado aos digestores (Durão, 2009). Uma vez que se está a lidar apenas com um tipo de resíduo, não há necessidade de se considerar mais do que um tanque. O tanque deve ser dotado de bombas que permitam a transferência dos resíduos para os digestores anaeróbios. As bombas devem ser adequadas ao teor de sólidos presentes no resíduo, podendo ser tipo de parafuso, pistão ou membrana dupla (Cheng, 2009). Deve ser dotado também de um agitador mecânico que garanta a mistura dos resíduos, mantenha os sólidos em suspensão e minimize a libertação de odores (Cheng, 2009; Durão, 2009).

A capacidade dos tanques deverá ser entre 3 a 7 vezes o volume diário afluente previsto, de modo a prevenir a ocorrência de situações de estrangulamento e permitir o funcionamento da instalação mesmo na ausência pontual de fornecimentos de resíduo (ADENE, 2003). Uma vez que se admite que durante 2 dias (fim-de-semana) não serão recebidos resíduos devido a questões de transporte, é necessário operar o tanque de modo a que seja garantido o fornecimento contínuo de resíduos ao digestor durante estes 2 dias. Considera-se um volume do tanque superior a 5 vezes o volume diário de resíduos afluentes.

Os tanques poderão ser construídos em betão ou em aço, acima e/ou abaixo do nível do solo, e serão cobertos de forma a evitar a propagação de cheiros. O ar extraído deverá ser conduzido para o sistema de filtragem para depuração de odores (ADENE, 2003). Admitiu-se a forma cilíndrica.

A Tabela 19 apresenta as dimensões do tanque de recepção, calculadas tendo em conta as considerações anteriormente mencionadas.

Tabela 19. Dimensões do tanque de recepção

Tanque de recepção	
Caudal de resíduos afluente (m^3/dia)	548
Volume calculado (m^3)	2740
Altura arbitrada (m)	10
Área superficial calculada (m^2)	274
Diâmetro calculado (m)	18,7
Diâmetro adoptado (m)	19,0
Área superficial adoptada (m^2)	284
Volume adoptado (m^3)	2835

7.2.3 Digestores Anaeróbios

Tendo por base a análise efectuada anteriormente aos tipos de digestores anaeróbios (secção 5.5), é possível escolher o digestor que melhor se adequa ao presente caso de estudo, de acordo com as características dos resíduos e as suas quantidades. Comparando os dois tipos de digestores mais usados nas CDA, os reactores perfeitamente agitados e os digestores de fluxo-pistão, os reactores perfeitamente agitados são os mais adequados aos grandes volumes de resíduos a tratar e aos baixos teores de ST verificados pelos chorumes (teor de ST de aproximadamente 9-10%). Assim sendo, o tipo de digestor utilizado será um reactor perfeitamente agitado.

A escolha da gama de temperatura à qual o digestor irá operar gera uma grande controvérsia. Se por um lado os sistemas mesofílicos são mais estáveis (menos dependentes de alterações no pH e na

toxicidade) e requerem menores consumos de energia; por outro lado, os sistemas termofílicos geram maiores produções de biogás, necessitam de TRH inferiores e permitem uma maior higienização dos produtos. Decidiu-se dar prioridade à elevada higienização dos produtos e à maior produção de biogás, seguindo-se a tendência actual e optando-se por operar na gama termofílica, ou seja, entre 50 e 60 ºC. Será admitida uma temperatura de funcionamento de 52 ºC (mais comum tendo em conta as CDA dinamarquesas).

Os TRH típicos do processo de DA variam entre os 10 e 25 dias. Admitir-se-á um TRH de 15 dias, uma vez que se está a lidar com temperaturas termofílicas, as quais conduzem a TRH baixos.

Os digestores serão de forma cilíndrica (mais comuns), com fundo inclinado e paredes verticais. Pode-se admitir que os digestores são semi-enterrados, de modo a conversar melhor a energia térmica. O material usado na sua construção pode ser betão ou metal, embora em Portugal seja mais comum a utilização de betão, pelo que se pode admitir aqui o seu uso.

O digestor tem de ser equipado com um sistema de mistura e um sistema de aquecimento.

A mistura será efectuada por agitadores mecânicos.

Para aquecimento do digestor serão implementados permutadores de calor em espiral, com controlo automático da temperatura. Os permutadores são constituídos por um sistema de circulação de água quente a 60 – 70 ºC, a qual pode ser produzida por recuperação de calor dos motor-geradores instalados para aproveitamento do biogás (Cheng, 2009). Será também colocada uma caldeira a gás natural para aquecimento do digestor na fase de arranque, quando ainda não existe biogás disponível.

A Tabela 20 apresenta as dimensões dos digestores e algumas das considerações usadas para o seu cálculo.

Tabela 20. Dimensões dos digestores anaeróbios

Digestores Anaeróbios	
Caudal de resíduos afluente (m^3/dia)	548
TRH (dias)	15
Volume total calculado (m^3)	8219
Número de digestores em serviço arbitrado	4
Volume unitário calculado (m^3)	2055
Altura unitária arbitrada (m)	10
Área superficial unitária calculada (m^2)	205
Diâmetro unitário calculado (m)	16,2
Diâmetro unitário adoptado (m)	17,0
Área superficial unitária adoptada (m^2)	227
Volume unitário adoptado (m^3)	2270
Área superficial total adoptada (m^2)	908
Volume total adoptado (m^3)	9079

7.2.3.1 Higienização

A higienização dos resíduos é particularmente importante em sistemas centralizados, de modo a reduzir os riscos de propagação de doenças entre explorações pecuárias e assegurar a protecção da saúde pública (contaminação de produtos agrícolas). Devem por isso ser tomados cuidados específicos ao nível da eliminação eficaz de organismos patogénicos.

A gama de temperatura utilizada na digestão, gama termofílica, embora garanta uma maior eficiência de eliminação de patogénicos, pode não ser suficiente para garantir os níveis desejáveis de descontaminação (ETSU, 1997). Os parâmetros que condicionam a higienização dos produtos da DA são principalmente a temperatura a que os resíduos são sujeitos em determinada fase do processo, ou na sua totalidade, em combinação com o tempo mínimo de retenção garantida. A nível nacional não existe legislação sobre este tema, no entanto, tal como já foi visto, o Regulamento (CE) nº 1774/2002 exige que o chorume sujeito ao processo de DA e que se destina a ser comercializado seja sujeito a um processo de tratamento térmico em que alcancem, pelo menos, 70 °C durante um mínimo de 1 hora. Na Dinamarca, país pioneiro no controlo da aplicação de resíduos para fins agrícolas, existe um regulamento que estabelece as condições de higienização que devem ser aplicadas aos resíduos de forma a permitir a sua reutilização agrícola. Neste regulamento combinam-se determinados tempos de retenção garantida e respectivas temperaturas que permitem igualar o grau de higienização obtido pela aplicação de 70 ^{o}C durante 1 hora (Anexo 14). A higienização pode ocorrer nos próprios digestores termofílicos ou num tanque em separado, quer antes quer depois da digestão do produto. Será admitido que esta irá ocorrer nos digestores. De acordo com a temperatura de operação dos digestores admitida, 52 ^{o}C, a legislação dinamarquesa estabelece um tempo mínimo de permanência garantida de 10 horas e define, também, que a digestão termofílica tenha um TRH de pelo menos 7 dias, o qual é cumprido e ultrapassado.

7.2.4 Tanques de Pós-digestão

Depois de digerido e higienizado, o efluente deverá seguir para os tanques de pós-digestão, onde permanece até ser transportado para os locais de armazenamento. Esses tanques, à semelhança do tanque de recepção, são também geralmente construídos em betão ou aço e serão dimensionados para armazenarem o equivalente a 15 dias de admissão de efluente (ADENE, 2003). Terão uma cobertura que permite a recolha e eventual armazenamento de parte do biogás remanescente. Mais de 10% do biogás produzido pode provir desta via, o que representa uma mais-valia significativa em termos de energia recuperada. A desgasificação do produto digerido nestes tanques garante também um produto final de manuseamento e armazenamento mais seguros e de menor impacte ambiental. Estes tanques deverão

ainda ser dotados de agitação e de um sistema que permita a recolha do efluente digerido para o posterior transporte para os locais de armazenamento.

As dimensões dos tanques de higienização são apresentadas na Tabela 21. É necessário saber o caudal de afluente à entrada dos tanques. Para tal, admitiu-se que tem à saída dos digestores 97% (em massa) do efluente inicial (ETSU, 1997). Admitiu-se a forma cilíndrica.

Tabela 21. Dimensões dos tanques de pós-digestão

Tanques de pós-digestão	
Caudal afluente (t/dia)	579
Volume afluente (m^3/dia)	532
Tempo de armazenamento (dias)	15
Volume total necessário calculado (m^3)	7973
Número de tanques em serviço arbitrado	2
Volume unitário calculado (m^3)	3986
Altura unitária arbitrada (m)	10
Área superficial unitária calculada (m^2)	399
Diâmetro unitário calculado (m)	22,5
Diâmetro unitário adoptado (m)	23,0
Área superficial unitária adoptada (m^2)	415
Volume unitário adoptado (m^3)	4155
Área superficial total adoptada (m^2)	831
Volume total adoptado (m^3)	8310

7.2.5 Sistema de Purificação do Biogás

É necessário remover a humidade, as partículas, o H_2S e o NH_3 contidos no biogás produzido, de modo a minimizar a potência de corrosão e aumentar o valor energético específico. São várias as opções para levar a cabo esta tarefa.

Logo a jusante dos digestores será introduzido um condensador/sedimentador que permitirá a remoção da água e das partículas. A remoção é realizada por uma combinação de força centrífuga e uma queda acentuada na velocidade à medida que o gás entra no mecanismo (Varec, 2011).

Na remoção do H_2S (dessulfurização), será utilizado um processo biológico. Para os sistemas de grande dimensão é esta a tendência actual. Estes processos são económicos e amigos do ambiente (ADENE, 2003). Ir-se-á recorrer a microrganismos da família *Thiobacillus*, os quais irão oxidar o H_2S a enxofre elementar ou sulfatos. Pode-se usar um tanque de fibra de vidro envolto num meio plástico e equipado com uma bomba de recirculação de água. O biogás é primeiro sujeito a uma lavagem (*scrubbing*) húmida, a qual ocorre num absorvedor e é usado um líquido com características alcalinas, sendo o H_2S

absorvido. A solução alcalina é atomizada no distribuidor de líquido existente no topo do absorvedor e contacta com o gás em contra-corrente. O biogás virtualmente livre de H_2S sai então pelo topo. O líquido, contendo agora o enxofre, entra no bioreactor, onde as bactérias oxidam este composto (Zhao et al., 2010; Chibante e Ferraz, 2009). Para que a reacção tenha lugar, os microrganismos necessitam de quantidades estequiométricas de oxigénio, sendo adicionado ar ao biogás numa proporção de 2 a 6% (ADENE, 2003). O enxofre é purgado e o líquido já livre de enxofre é recirculado (Zhao et al., 2010; Chibante e Ferraz, 2009).

7.2.6 Gasómetro

O biogás produzido será armazenado num gasómetro. Existem diferentes tipos de gasómetros, sendo comuns os tanques ou esferas de baixa, média ou alta pressão, com campânula de aço em água ou tela plástica (Escobar e Heikkilä, 1999; ADENE, 2003). Em Portugal, os gasómetros recentemente mais utilizados são esferas insufláveis de dupla camada em membrana de poliéster endurecida com policloreto de vinilo (PVC) (Cheng, 2009) e será esse o tipo de gasómetro a utilizar. A camada exterior é continuamente sujeita a enchimento de ar através de um soprador de ar para manter uma pressão constante. A camada interior é para armazenamento de biogás e é deslocável, sendo o volume de gás armazenado monitorizado por um detector ultrasónico de nível. Comercialmente, este tipo de gasómetro pode ter capacidades desde 100 m^3 até a 5000 m^3 com diâmetros correspondentes de 6,9 e 22,9 m. A pressão de serviço de biogás armazenado é de 0,02 atm (baixa pressão). A estrutura do gasómetro consegue resistir um a velocidade máxima do vento é de 160 km/h (Cheng, 2009).

O volume de armazenamento deve ser analisado e dimensionado de acordo com as taxas de produção e de utilização do biogás, tendo em conta as possíveis flutuações. A capacidade de armazenamento depende do regime de utilização desejado para a conversão do biogás, podendo variar entre 1-4 horas para sistemas de utilização regular e contínua do gás, até 12 horas para utilizações preferenciais durante o período diurno (ADENE, 2003; Durão, 2009). No caso de estudo será prevista uma capacidade de armazenamento de 4 horas, admitindo-se uma utilização do biogás ao longo das 24 horas.

Admitindo-se a recepção de 200 000 m^3/ano de chorume (538 m^3/dia), segundo a Equação 6 (secção 7.3) a produção diária de biogás é de 8 677 m^3 e será para essa quantidade e de acordo com as considerações anteriores que o volume do gasómetro a implementar será calculado. A Tabela 22 apresenta as dimensões do gasómetro.

Tabela 22. Dimensões do gasómetro

Gasómetro	
Biogás (m^3/dia)	8677
Período de armazenamento (h)	4
Volume de armazenamento a 0 ^oC e 1 atm	1446
Pressão no gasómetro (atm)	1,02
Temperatura máxima ambiente (^oC)	40
Volume necessário (m^3)	1626
Diâmetro calculado (m)	14,6
Diâmetro admitido (m)	14,9
Área transversal admitida (m^2)	167
Volume admitido (m^3)	1732

7.2.7 Sistema de Cogeração

A energia do biogás será convertida em calor e electricidade, recorrendo-se para tal a motor-geradores. Utilizar-se-á um equipamento originalmente utilizado com gás natural, pelo que ter-se-á à disponibilidade uma ampla gama de potências.

A eficiência de conversão do biogás em energia eléctrica é relativamente limitada. Dependendo da sua potência, os grupos motor-gerador têm eficiências de conversão de energia eléctrica que variam dos 25 a 40% relativamente à energia inicialmente presente no biogás (ADENE, 2003). De acordo com Cheng (2009) e Fujino et al. (2005) a eficiência de conversão de energia eléctrica é normalmente de 25%. AEAEE (2007), AEAT (2005) e ADENE (2003) apresentam um valor de 35%. Optou-se por considerar um valor de 35% para a conversão da energia eléctrica. Admitir-se-á que toda a energia eléctrica produzida será vendida à rede.

Durante o processo o calor é libertado para as fases líquida e gasosa: água de arrefecimento do motor (12 a 18%), óleo de lubrificação (5 a 10%), gases de exaustão (25 a 35%), para além do que é perdido por radiação e convecção (10 a 25%). Parte desta energia térmica pode ser recuperada através da utilização de permutadores para os circuitos de arrefecimento do motor, do óleo de lubrificação e dos gases de escape (Santos, 2005). Segundo Fujino et al. (2005), a eficiência de conversão do biogás em calor é de 45%. AEAEE (2007) e AEAT (2005) consideram um valor de 50%. Neste estudo optar-se-á por um valor de 45%. Admitir-se-á que 50% do calor produzido será usado na CDA para aquecimento dos digestores. Futuramente, o calor restante poderá ser usado no aquecimento de edifícios/indústrias próximos, após se realizar o levantamento dos mesmos.

Tal como já foi visto, será colocada uma caldeira a operar a gás natural que preveja a geração singular de calor, de modo a proporcionar energia térmica ao processo no caso de falha dos grupos motor-gerador e também na fase arranque do processo.

7.2.8 Queimador de Biogás

É necessária a existência de um queimador para eventual impossibilidade de aproveitamento do biogás ou quantidade excedente. Uma vez que é um dispositivo de segurança, o seu funcionamento de emergência deve ser totalmente automático. É constituído por 2 partes principais: o controlador e o queimador elevado (Cheng, 2009).

O controlador, mediante circuitos electrónicos e um tubo de Venturi, regulariza os caudais de biogás e ar e acende a chama piloto que deve ser mantida de forma permanente e estável. O dispositivo também pode detectar as situações anormais e emitir sinais de alarme. Deve ficar a uma distância de segurança do queimador e ser equipado com dispositivos de segurança incluindo válvula de anti-retorno e corte de chama (Cheng, 2009).

O queimador elevado é protegido por uma camisa contra o vento e colocado a uma altura mínima de 2 m, a qual é dependente do caudal de gás a queimar. Os caudais de gás, ou seja, a capacidade do queimador, vão dos 100 até 6330 m^3/h. O queimador de emergência pode operar a uma pressão mínima de 12 mm de coluna de água (Cheng, 2009).

Na Tabela 23 apresenta-se a capacidade do queimador considerando-se um factor de segurança de 1,25 (Cheng, 2009).

Tabela 23. Capacidade do queimador de biogás

Queimador de Biogás	
Capacidade máxima calculada (m^3/h)	362
Factor de segurança	1,25
Capacidade máxima seleccionada (m^3/h)	452

7.2.9 Resumo das Características das Instalações

A Tabela 24 resume as principais características das instalações das CDA.

Tabela 24. Resumo das principais características das instalações das CDA

Instalação dimensionada para processar 200 000 m^3/ano de resíduos (218 000 t/ano), dotada das seguintes unidades:	
Área de Recepção e Descargas	- Área de 700 m^2 em edifício fechado, com renovação de ar e em depressão.
Tanque de Recepção	- 1 tanque de recepção coberto (2 835 m^3) para o chorume.
Digestores Anaeróbios	- 4 digestores anaeróbios do tipo perfeitamente agitados (4 × 2 270 m^3) a operar em regime termofílico (≈ 52 ºC), com um TRH de 15 dias, onde ocorre a higienização do efluente.
Tanques de Pós-digestão	- 2 tanques de pós-digestão providos com cobertura para recolha do biogás (2 × 4 155 m^3).
Sistema de Purificação do Biogás	- Condensador/sedimentador para remoção de água e partículas; - Biorreactor para dessulfurização.
Gasómetro	- 1 esfera insuflável de dupla membrana (1 732 m^3).
Sistema de Cogeração	- Grupos motor-gerador e caldeira de apoio a gás natural.
Queimador de Biogás	- 1 queimador de biogás com capacidade máxima de 452 m^3/h.
Edifícios e sistemas de controlo e monitorização, com uma área de 1 000 m^2.	

A área total de terreno necessário tendo em conta as instalações descritas será de aproximadamente 4 000 m^2. Deve ser considerado terreno suplementar de modo a permitir áreas de separação e circulação entre as unidades; áreas para o sistema de purificação do biogás, sistema de aquecimento, sistema de cogeração, queimador de biogás e distâncias de segurança associadas; áreas para tubagens e bombas; espaço para o armazenamento do produto digerido, possíveis separação sólido-líquido, tratamento da fibra (compostagem) e do líquido clarificado; e também pode ser considerada a possibilidade de aumento da capacidade da instalação. Será, assim, admitida a construção em terrenos com pelo menos 10 000 m^3 (1 ha).

7.3 Produção de Biogás

A produção de biogás pode ser estimada com base na carga ou na destruição dos SV presentes nos resíduos (Cheng, 2009; Murphy e Power, 2006). Se se tiver por base a carga de SV, conhecendo-se a taxa de geração de biogás é possível determinar a produção de biogás. Os SV são função da MS presente nos resíduos. A Equação 6 apresenta a relação existente entre os parâmetros descritos:

$$P_B \left(\frac{m^3 biogás}{d}\right) = Q_R \left(\frac{m^3\ resíduo}{d}\right) \times\ MS \left(\frac{kg\ MS}{m^3 resíduo}\right) \times SV\ (\%) \times B \left(\frac{m^3\ biogás}{kg\ SV}\right), \qquad [6]$$

com:

P_B – Produção de biogás;

Q_R – Quantidade de resíduo;

B – Taxa de geração de biogás ou produção específica de biogás.

Os valores dos parâmetros em análise aplicados ao chorume produzido nas boviniculturas são os exibidos pela Tabela 25.

Tabela 25. Parâmetros para o cálculo do potencial de geração de biogás (adaptado de: (1) CBPA, 2009; (2) Tricase e Lombardi, 2009)

	MS [(1)] (kg MS/m³ chorume)	**SV [(2)] (%)**	**B [(2)] (m³ biogás/kg SV)**
Bovinos	90	68 - 85	0,20 - 0,26

Aplicando-se a Equação 6 é possível calcular a produção de biogás nas CDA em estudo (Tabela 26). Admitiram-se valores médios de SV e B, de 76,5% e 0,23 m^3 biogás/ kg SV, respectivamente.

Calculou-se também a energia do biogás, admitindo-se um poder energético do biogás de 23 MJ/m^3. As energias eléctrica e calorífica foram calculadas com base numa eficiência de conversão da energia do biogás em electricidade de 35% e em calor de 45%. A energia eléctrica em GJ/d pode ser convertida a potência eléctrica em kW (factor de conversão de 11,575 kW/(GJ/d)) (ver Tabela 26).

Tabela 26. Produção de biogás, energia do biogás e discriminação em energia eléctrica e calorífica e potência eléctrica, por CDA

	Chorume afluente (m³/d)	**Produção de biogás (m³/d)**	**Energia do biogás (GJ/d)**	**Energia eléctrica (GJ/d)**	**Energia calorífica (GJ/d)**	**Potência eléctrica (kW)**
CDA1	535	8474	194,9	68,22	87,71	790
CDA2	532	8421	193,7	67,79	87,16	785
CDA3	527	8344	191,9	67,17	86,36	778
CDA4	538	8514	195,8	68,54	88,12	793
CDA5	533	8438	194,1	67,92	87,33	786
CDA6	504	7974	183,4	64,19	82,53	743
CDA7	388	6138	141,2	49,41	63,53	572
CDA8	432	6840	157,3	55,06	70,79	637
Total	**3 987**	**63 143**	**1 452**	**508**	**654**	**5 884**

Para uma CDA que utilize a sua capacidade máxima, 200 000 m^3 de resíduos por ano, a produção de biogás, energia do biogás, energia eléctrica e calorífica e potência eléctrica tomam os valores da Tabela 27.

Tabela 27. Produção de biogás, energia do biogás e discriminação em energia eléctrica e calorífica e potência eléctrica, para 200 000 m^3/ano de resíduos tratados

Chorume afluente (m^3/d)	Produção de biogás (m^3/d)	Energia do biogás (GJ/d)	Energia eléctrica (GJ/d)	Energia calorífica (GJ/d)	Potência eléctrica (kW)
548	8677	199,6	69,85	89,81	809

8 Viabilidade Económica

Não se efectuou o pedido de propostas de projecto. Por um lado, seria necessário o levantamento prévio das características detalhadas dos resíduos afluentes, assim como a contabilização de todas as explorações pecuárias dos concelhos da AMP, ou pelo menos, daqueles mais representativos. Por outro lado, na medida em que este estudo é um trabalho académico, dificilmente se obteria uma resposta por parte das empresas.

Há muitos estudos relativos aos sistemas individuais de DA, apresentando várias equações de cálculo e custos de instalações em implementadas. Muitos dividem entre tipo de digestor: perfeitamente agitado, de fluxo-pistão, de lagoa anaeróbia, entre outros (Baldwin e tal., 2009; USDA, 2007). No entanto, para as CDA a informação existente não é tão abundante.

A avaliação dos custos de investimento e O&M (excluindo os custos de transporte) tiveram por base as CDA já implementadas, principalmente as da Dinamarca. Os custos de transporte foram calculados com base nas distâncias médias das CDA às explorações abrangentes, as quais foram obtidas com recurso às funcionalidades do ArcGIS 9.3®. Nas receitas apenas se contabilizou a venda de electricidade produzida a partir do biogás, com base nos preços praticados de acordo com a legislação em vigor em Portugal. Posteriormente, realizou-se uma análise ao conjunto de custos e receitas obtidos.

8.1 Custos

8.1.1 Investimento Inicial

O investimento inicial inclui as unidades de DA, nomeadamente, tanque(s) de recepção, digestor(es), tanque(s) de higienização, tanque(s) de armazenamento do produto digerido, sistema de purificação do biogás, gasómetro(s), caldeira a gás, instalação de cogeração e tubagens. Também poderão fazer parte dos custos de investimento inicial os tanques de armazenamento de lamas nas explorações, as unidades de separação mecânica do produto digerido, a aquisição do terreno, entre outros, mas tal não é englobado na presente análise (Hjort-Gregersen, 1999). Esses custos dependem de muitos factores, de entre os quais se destacam o tipo de tecnologia e capacidade do sistema a implementar (ADENE, 2003; Hjort-Gregersen, 1999). De acordo com Nielsen e Hjort-Gregersen (2002) e Baldwin et al. (2009) este custo é afectado por economias de escala.

Embora seja uma estimativa grosseira, é possível avaliar o investimento inicial a partir dos dados reais observados noutras CDA, nomeadamente na Dinamarca, a partir da aplicação de uma função que relacione o investimento inicial com um outro parâmetro, como por exemplo o número de animais (Baldwin et al., 2009), potência da instalação (Baldwin et al., 2009; ADENE, 2003), capacidade tratamento (Murphy e Power, 2006; Karagiannidis and Perkoulidis, 2009), entre outros. Optou-se pela representação do investimento inicial, em €, em função da capacidade de tratamento, medida em m^3 de resíduos/ano.

Utilizaram-se os valores das CDA dinamarquesas apresentados em Hjort-Gregersen (1999). O Anexo 15 apresenta os valores usados e a representação gráfica da função. As economias de escala são muito perceptíveis na função obtida.

A função é a seguinte:

$$Investimento\ inicial\ (€/m^3)\ = 10692 \times Capacidade\ de\ tratamento\ (m^3/ano)^{-0{,}48}, \qquad [7]$$

a qual apresenta um coeficiente de correlação, R^2, de 0,8052.

O investimento inicial por CDA e total é apresentado na Tabela 28.

Tabela 28. Investimento inicial

	Quantidade de resíduos (m^3/ano)	Investimento inicial (1000€)
CDA1 a 8	200000	6104
Total	**1 600 000**	**48 830**

Comparou-se os investimentos iniciais obtidos com os patentes em propostas comerciais levantadas em ADENE (2003). Verificou-se que os investimentos iniciais propostos nesse âmbito são muito semelhantes aos aqui obtidos.

A empresa BWSC – Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S, numa proposta realizada a ADENE (2003), estima que cerca de 78% do investimento inicial corresponde à DA e 22% à cogeração com biogás. No mesmo âmbito, um consórcio constituído pelas empresas NIRAS - Consulting Enginners and Planners A/S e PIASA estima que aproximadamente 89% do investimento inicial é para a DA e 11% deste para o sistema de cogeração. Assim sendo, ter-se-á, aproximadamente, um investimento inicial de **40 775 000 €** aplicados ao processo DA e **8 055 000 €** aplicados ao sistema de cogeração, num total de **48 830 000 €,** no conjunto das CDA propostas.

8.1.2 Custos de Operação e Manutenção

Os custos de operação referem-se principalmente aos encargos com pessoal, custos administrativos e consumo de electricidade, podendo também contemplar encargos com análises físico-químicas e gastos de água (ADENE, 2003; Arati, 2009). Também podem incluir os custos associados ao transporte dos resíduos desde as origens até às CDA. Os custos de manutenção referem-se à manutenção necessária quer de equipamento electromecânico quer de construção civil (ADENE, 2003). Os custos de O&M, tal como o investimento inicial, dependem da capacidade da instalação e das suas características técnicas e são alvo de economias de escala (Nielsen e Hjort-Gregersen, 2002; Baldwin et al., 2009).

À semelhança de como se procedeu no cálculo do investimento inicial, também neste caso é possível ajustar uma função que relacione os custos de O&M verificados nas instalações da Dinamarca com a capacidade de tratamento (Anexo 16). Ao contrário do que se verifica na análise do investimento inicial, para os custos de O&M não é especificado em Hjort-Gregersen (1999) quais as componentes que os custos apresentados incluem. Não se sabe, assim, se o transporte dos resíduos desde as fontes até à unidade tratamento está ou não incluído.

A função obtida é a seguinte:

$$Custos\ de\ O\&M\ ((€/ano)/m^3)\ = 1284{,}4 \times Capacidade\ de\ tratamento\ (m^3/ano)^{-0{,}472}, \quad [8]$$

à qual está associado um R^2 de 0,8557 e é perceptível a existência de economias de escala.

Os custos de O&M aplicados às CDA em análise de acordo com a função ajustada encontram-se na Tabela 29.

Tabela 29. Custos de O&M

	Quantidade de resíduos (m^3/ano)	Custos de O&M (1000€/ano)
CDA1 a 8	200000	808
Total	**1 600 000**	**6 467**

No entanto, verifica-se uma grande discrepância entre os custos de O&M fornecidos por diferentes autores.

De acordo com Arati (2009), Lazarus (2009), AEAEE (2007) e AEAT (2005) os custos de O&M correspondem a 5% do investimento inicial ao ano (Cordebella (2006) estabelece um valor de 4%). Segundo estes autores, os custos de O&M referem-se à operação recorrente e à manutenção das instalações e equipamento. Aplicando uma percentagem de 5% ao investimento inicial obtido, tem-se que os custos de O&M do presente estudo são de cerca de **2 440 000 €/ano** para a totalidade das CDA e de aproximadamente **305 000 €/ano** para cada CDA. Este valor é substancialmente inferior ao calculado

segundo a experiência dada pela Dinamarca (menos de metade). ADENE (2003) refere que, em particular, os custos de manutenção correspondem a 2,3% do investimento inicial, o que aplicado ao caso de estudo remete para um custo de manutenção de **140 000 €/ano** para cada CDA, num total de 1 **123 000 €/ano** para as 8 CDA.

Birkmose et al. (2007) estabelece um custo de O&M de **950 250 €/ano** para uma CDA a tratar cerca de 250 000 t/ano de resíduos pecuários, discriminando que 630 000 €/ano são custos de operação e 320 250 €/ano referem-se a custos de manutenção. Este autor define este custos como sendo os que estão relacionados com investimentos adicionais e com a produção de biogás.

Analisaram-se também os custos de O&M previstos por algumas empresas em propostas efectuadas a ADENE (2003) para CDA com características semelhantes às neste estudo analisadas. Um consórcio constituído pelas empresas NIRAS - Consulting Enginners and Planners A/S e PIASA apresenta um custo de O&M de **447 000 €/ano** aplicados a uma CDA com capacidade de 250 000 t/ano. Estes valores dizem respeito somente à operação e manutenção da instalação.

Tendo em conta todos os valores apresentados anteriormente, é possível estabelecer um intervalo dentro do qual os custos de O&M se podem incluir. Assim sendo, os custos de O&M no presente caso de estudo podem ser de cerca de **300 000 - 950 000 €/ano** para cada CDA em particular, e de aproximadamente **2 400 000 - 7 600 000 €/ano** para o conjunto das 8 CDA propostas. A diferença entre os valores mínimos e máximos é muito elevada. Toda a análise está limitada aos parâmetros contemplados na avaliação destes custos, os quais nem sempre estão claramente definidos. Para efeitos de cálculo serão considerados custos de O&M de 808 000 €/ano para cada central, num total de 6 467 000 €/ano (valores obtidos tendo em conta as CDA dinamarquesas).

Podem-se discriminar os custos tidos com pessoal. De acordo com ADENE (2003), CDA com capacidade idêntica às analisadas necessitam de um engenheiro responsável (1 500 €/mês), 2 técnicos (1 000 €/mês), 1 administrador (700 €/mês) e 2 operadores (600 €/mês), com um custo total de 94 500 €/ano.

8.1.2.1 Custos de Transporte dos Resíduos

Os custos de transporte dos resíduos pecuários entre as explorações e as CDA são um aspecto fundamental a ter em consideração na implementação das CDA, havendo necessidade de optimizar o sistema de recolha dos resíduos e, assim, minimizar os custos. Não é objectivo do presente estudo a optimização deste sistema. Só com base num sistema de recolha onde parâmetros como os percursos efectuados, distâncias percorridas, número de camiões usados, frequência de recolha, entre outros, estejam bem definidos é possível avaliar correctamente os custos de transporte.

A análise dos custos de transporte efectuada neste estudo tem por base as distâncias em linha recta e aproximadas entre as CDA e as explorações pecuárias e os custos de transporte por quantidade de resíduos transportados e distância percorrida. Trata-se, assim, de uma análise grosseira e com erros grandes associados. Tentou-se a obtenção da rede viária em formato que permitisse a implementação em ArcGIS 9.3® e, deste modo, calcular as distâncias reais entre as explorações e as CDA, mas tal não foi conseguido. Contudo, tal análise também não conteria a optimização de um percurso de recolha, pelo que, embora menores, seriam também cometidos erros. Na tentativa de se tentar aprimorar ao máximo a análise efectuada, dentro das limitações associadas, determinaram-se as explorações que se encontram ao alcance de um raio de 1, 2, 3, 4, … x km de cada CDA, de modo a se usarem distâncias mais próximas da realidade em vez de um só valor de distância. A determinação destas distâncias foi realizada com recurso às funcionalidades do ArcGIS 9.3®.

Os custos de transporte dos chorumes, segundo uma empresa contactada por Durão (2009), são de 0,12 €/(m^3.km) para a carga completa, correspondente a camiões com cisternas de 30 m^3, e a negociar caso o transporte seja efectuado com carga inferior à capacidade do veículo. De acordo com este valor, a quantidade chorume transportada e as distâncias percorridas (Equação 9) calcularam-se os custos de transporte para cada CDA (Tabela 30). Apresenta-se também o custo de transporte por m^3 de chorume. No Anexo 17 apresentam-se estes custos com informação mais detalhada.

$$Custos\ de\ transporte\ \left(\frac{€}{ano}\right) = \sum_{i=1}^{n} 0{,}12\ \left(\frac{€}{m^3.km}\right) \times Total\ de\ chorume\ \left(\frac{m^3}{ano}\right)_i \times Distância\ i\ (km) \times 2, \qquad [9]$$

com i = distância = 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14 ou 15. A multiplicação da distância por 2 ocorre de modo a se incluir as viagens de ida e de volta.

Tabela 30. Custos de transporte dos resíduos

	Custo de Transporte (€/ano)	Custo de Transporte (€/m^3)
CDA1	133816	0,69
CDA2	116749	0,60
CDA3	104524	0,54
CDA4	129593	0,66
CDA5	135211	0,70
CDA6	138369	0,75
CDA7	226548	1,60
CDA8	324093	2,06
Total	**1 308 903**	

Verifica-se que nas CDA 1, 2, 3, 4 e 5, correspondentes ao tratamento dos concelhos da Póvoa do Varzim e Vila do Conde, onde as distâncias máximas de transporte não ultrapassam os 6 km, os custos de

transporte são significativamente inferiores aos verificados nas CDA 7 e 8, onde a distância máxima de transporte é de 15 km. Este facto, aliado aos elevados custos verificados, remete para a grande importância da proximidade das fontes geradoras de resíduos às CDA. O custo de transporte vai dos 0,54 €/m^3 na CDA3 (Vila do Conde) até aos 2,06 €/m^3 observados nos concelhos de Oliveira de Azeméis e Arouca.

8.2 Receitas

8.2.1 Venda da Energia Eléctrica do Biogás à Rede

De acordo com o **DL nº 225/2007**, de 31 de Maio, a tarifa de electricidade produzida com recuso à valorização resíduos por DA (RSU, resíduos de ETAR e resíduos agro-pecuários) assume um valor de 115 – 117 €/MWh até ao limite de uma potência instalada a nível nacional de 150 MW. Superado este limite a tarifa aplicada passa a ser de 74 – 76 €/MWh. Estas tarifas são aplicáveis durante os primeiros 15 anos a contar desde o início do fornecimento de electricidade à rede.

Como já tinha sido visto, ir-se-á admitir o aproveitamento contínuo da energia do biogás (24 horas). A partir da potência eléctrica anual e admitindo-se um preço de venda do biogás à rede eléctrica nacional de 116 €/MWh tem-se uma receita da venda de electricidade de cerca de 6 000 000 € anuais no conjunto das 8 CDA (Tabela 31). Cada CDA em particular pode receber cerca de 800 000 €/ano da venda de biogás. Para as CDA 7 e 8 a receita é menor, visto se estarem a tratar menores quantidades de resíduos e, logo, se esteja a produzir menos biogás. A venda de energia eléctrica proporciona uma importante fonte de receita.

Tabela 31. Receita da venda de electricidade à rede eléctrica nacional

	Potência eléctrica anual (MWh)	Receita da venda da electricidade à rede (€/ano)
CDA1	6917	802368
CDA2	6873	797319
CDA3	6811	790077
CDA4	6950	806164
CDA5	6887	798909
CDA6	6508	754983
CDA7	5010	581195
CDA8	5583	647640
Total	**51 540**	**5 978 656**

8.3 Balanço Económico

Efectuou-se um balanço económico simples aos custos e receitas anuais, sem entrar em conta com o investimento inicial (Tabela 32).

Tabela 32. Balanço económico

	Balanço económico (1000€/ano)
CDA1	-140
CDA2	-128
CDA3	-123
CDA4	-132
CDA5	-145
CDA6	-192
CDA7	-454
CDA8	-485
Total	**-1798**

Verifica-se que o saldo é negativo, havendo um prejuízo de cerca de 1 800 000 € por ano no total das CDA. Nas CDA 7 e 8 o prejuízo é muito superior ao verificado nas restantes centrais. Tal deve-se ao facto de os custos de transporte dos resíduos nestas CDA ser mais elevado devido a um raio de acção superior em combinação com uma menor receita de venda de biogás, visto que se estão a tratar menores quantidades de resíduos.

A obtenção de um balanço económico negativo limita a análise económica passível de ser realizada.

Para que o sistema possa vir a ter um balanço económico positivo é necessário considerar a venda do produto digerido, podendo este ser sujeito apenas a separação sólido-líquido ou ser também aplicada compostagem. De acordo com ADENE (2003), a compostagem do produto digerido e sua posterior venda do composto orgânico embalado gera receitas de cerca de 30 €/t de composto e só a venda de composto embalado é financeiramente interessante. Também se poderá considerar que o transporte dos resíduos das explorações até às centrais seja financiado pelos produtores. Ou, em alternativa, sejam aplicadas taxas de admissão destes resíduos nas CDA.

Face ao elevado valor do investimento inicial, para além do auto-financiamento que poderá ser conseguido após consideração da venda do produto digerido e do uso de capitais dos produtores, será também necessário considerar o recurso a subsídios. Para tal, poder-se-ão criar programas de incentivo nacionais e/ou europeus e realizar a procura de fontes de financiamento aplicáveis.

9 Conclusões

As boviniculturas da área em estudo dedicam-se essencialmente à produção de leite. O sistema de exploração é intensivo, à excepção dos concelhos de Oliveira de Azeméis e Arouca, onde se pratica maioritariamente o sistema extensivo. Em todos os concelhos é predominante a existência de explorações com produção de chorume e a sua recolha é, geralmente, realizada diariamente.

Dos concelhos em estudo destacam-se Vila de Conde e Póvoa do Varzim com um efectivo bovino muito elevado e explorações de grande dimensão, e também Arouca, concelho onde há um número muito elevado de boviniculturas, maioritariamente com 1 ou 2 animais.

A análise às quantidades de chorume a tratar distribuídas pelo território (densidade) levou à implementação de 8 CDA na área em estudo: 6 CDA destinadas ao tratamento dos resíduos dos concelhos de Vila do Conde e Póvoa do Varzim, onde a produção de resíduos pecuários é deveras abundante; 1 CDA destinada ao tratamento dos resíduos da Maia, Trofa e Santo Tirso; e 1 CDA que irá proceder ao tratamento dos resíduos de Oliveira de Azeméis e Arouca. A quantidade de chorume recebida anualmente por cada CDA ronda os 200 000 m^3, à excepção das CDA dos concelhos de Maia, Trofa e Santo Tirso e Oliveira de Azeméis e Arouca, as quais recebem cerca de 150 000 m^3/ano de chorume.

O chorume das boviniculturas será recolhido diariamente nas explorações e transportado para as CDA por estrada com recurso a camiões cisterna. As principais unidades do sistema serão: área de recepção e descargas, tanque de recepção, digestores anaeróbios, tanques de pós-digestão, sistema de purificação do biogás, gasómetro, sistema de cogeração e queimador de biogás. A área de recepção será num edifício fechado, com renovação de ar e em depressão, de modo a evitar a propagação de maus odores para a vizinhança. O tanque de recepção será coberto. O processo de DA ocorrerá em regime termofílico, a uma temperatura de aproximadamente 52 ºC, num total de 4 digestores anaeróbios do tipo perfeitamente agitados, com mistura e aquecimento. O TRH será de 15 dias. A higienização do efluente será executada nos próprios digestores termofílicos. Após a digestão, o efluente segue para 2 tanques de pós-digestão providos com cobertura para recolha do biogás. O biogás produzido no sistema passará por um sistema de purificação constituído por um condensador/sedimentador para remoção de água e partículas e por um biorreactor que permitirá a dessulfurização do biogás. O armazenamento do biogás terá lugar num gasómetro de esfera insuflável de dupla membrana. Serão produzidos calor e electricidade a partir da energia do biogás, prevendo-se o uso de calor para aquecimento dos digestores e a venda da energia eléctrica rede eléctrica nacional. O sistema de cogeração será composto por grupos motor-gerador. Será colocada uma caldeira de apoio a gás natural. Na necessidade de se

proceder à queima do biogás, será implementado um queimador de biogás. A planta terá também pelo menos um edifício e sistemas de controlo e monitorização.

Cada CDA terá um valor de investimento inicial de cerca de 6,1 M€, o que no conjunto das 8 CDA leva a um investimento inicial de 48,8 M€. Os custos de O&M variam entre desde os 300 000 €/ano aos 950 000 €/ano para cada CDA de acordo com diferentes fontes bibliográficas. Admitiu-se um custo de O&M de 808 000 €/ano para cada central (6,5 M€/ano na totalidade das CDA). Os custos de transporte variam dos 0,54-0,75 €/m^3 de resíduos para CDA implementadas nos concelhos de Vila do Conde e Póvoa do Varzim, com distâncias máximas das CDA às boviniculturas de 6 km, até aos 1,60-2,06 €/m^3 para as centrais que se destinam ao tratamento de resíduos a uma distância de 15 km. Estes custos unitários reflectem-se num custo anual de transporte que vai dos 133 816 € até aos 324 093 € para cada CDA. A minimização das distâncias de transporte pode contribuir significativamente para a economia dos sistemas centralizados, para além das poupanças de combustíveis fósseis inerentes. A venda de biogás resulta numa receita de cerca de 6,0 M€ anuais no conjunto das 8 CDA (cerca de 800 000 €/ano na grande parte das centrais). Fazendo-se um balanço económico aos custos e receitas verifica-se um prejuízo de cerca de 1,8 M€/ano no conjunto das centrais, o qual varia desde os 123 000 – 192 000 €/ano nas centrais de Vila do Conde e Póvoa do Varzim, até aos 454 000 - 485 000 €/ano nas centrais de implementadas em Oliveira de Azeméis e Trofa, onde as distâncias de transporte são maiores e as quantidades de resíduos tratadas menores. A capacidade das centrais deve ser aproveitada ao máximo.

A venda do produto digerido será fundamental para se obterem lucros e só com esta receita extra há a possibilidade de os sistemas de DA se auto-financiarem e permitirem o retorno do capital investido. Poder-se-á também considerar o uso de capitais alheios, como é o caso do financiamento do transporte dos resíduos pelos produtores ou a cobrança de taxas de admissão de resíduos a tratamento. Mediante os elevados custos de investimento será necessário o recurso a subsídios. Para tal, podem-se criar programas de incentivo nacionais e/ou europeus e realizar a procura de fontes de financiamento aplicáveis.

9.1 Objectivos Realizados

A análise de uma viabilidade técnica centrada na descrição das unidades das CDA foi totalmente realizada. Também a avaliação de produção de biogás e sua conversão em energias eléctrica e térmica foi efectuada. No que respeita à avaliação da viabilidade económica, apresentaram-se os possíveis custos e receitas, possibilitando uma boa noção da economia do processo, tendo também este objectivo sido bem sucedido. O levantamento dos dados das boviniculturas da AMP e sua georeferenciação superou a proposta inicial, tendo-se acedido aos dados de mais concelhos do que os inicialmente

previstos. A caracterização das boviniculturas da área em estudo e dos resíduos por elas produzidos, embora seja uma análise de difícil acesso quando não é possível o contacto directo com as explorações, foi totalmente realizada dentro das limitações tidas. Por sua vez, a determinação do número e localização das CDA superou as expectativas, tendo-se executado um estudo exaustivo, embora a rigor se necessite de um estudo conduzido por uma equipa de profissionais.

9.2 Limitações e Trabalho Futuro

- Uma das maiores limitações do presente trabalho refere-se à falta de informação detalhada relativa às características das boviniculturas e dos resíduos por estas produzidos. Esta lacuna na informação levou a que tivessem de ser adoptadas algumas considerações, nomeadamente:

  - Produção exclusiva de chorume por parte de todas as boviniculturas, pois apenas se sabe que maioritariamente é usada a estabulação com produção de chorume, não havendo dados específicos de quais as explorações que não a utilizam. Fica assim de fora a utilização de estrume no processo de DA, o qual permite reduzir a diluição da mistura a tratar, melhorando a produção de biogás por unidade de volume tratado;

  - Admissão de produção de chorume não diluído devido à inexistência de dados sobre a mistura deste efluente com águas sujas, o que é uma grande limitação na medida em que a adição destas águas leva à sua diluição do chorume, alterando as suas características e aumentando os volumes de resíduos a tratar;

  - Envio para tratamento de todo o chorume produzido, visto que não há informação das perdas e eventuais impossibilidades da sua recolha nas explorações;

  - Determinação não rigorosa das boviniculturas destinadas à produção de leite ou de carne.

⇒ Um importante trabalho futuro será o levantamento de informação pormenorizada relativa aos aspectos descritos anteriormente.

- Uma outra grande limitação do presente trabalho reside no facto de não se ter considerado a incorporação quer de resíduos de outras actividades pecuárias, nomeadamente da suinicultura e da avicultura, quer de co-substratos, como é o caso de resíduos da indústria alimentar e lamas provenientes de ETARs. Considerando apenas o uso dos chorumes, as CDA desviar-se-ão do seu conceito e funcionarão na prática como uma ETAR convencional. O uso de co-substratos poderia ser muito interessante principalmente do ponto de vista económico, uma vez que a incorporação de outros resíduos para além dos resíduos das boviniculturas traz benefícios acrescidos ao projecto, defendendo-se em alguns casos que é mesmo indispensável para a viabilidade e equilíbrio financeiro.

⇒ Futuramente deve ser feito o levantamento das possíveis fontes de co-substratos e efectuada uma análise da viabilidade da sua incorporação nas CDA.

- Todo o processo de obtenção das moradas das explorações pecuárias foi muito moroso, havendo muita apreensão por parte das Cooperativas Agrícolas em fornecer estes dados. Neste sentido, os dados correspondentes ao concelho da Trofa não são muito significativos.

⇒ Futuramente recomenda-se o levantamento de todas as explorações da Trofa, assim como poderão ser estudadas todas as explorações pecuárias da AMP.

- Está fora do âmbito de estudo a consideração da gestão do produto digerido resultante do processo de DA. No entanto, a sua análise revela-se essencial para a determinação da economia dos sistemas.

⇒ Recomenda-se a avaliação da receptividade do mercado para um composto orgânico produzido a partir do produto digerido e a avaliação da sua influência na economia do sistema. No caso de não se optar pela compostagem do produto, devem ser verificadas as características do produto e a possibilidade/impossibilidade da sua aplicação no solo. Recomenda-se também a avaliação do destino final a dar ao líquido clarificado após separação sólido-líquido. No caso de opção por descarga em ETARs, pode ser incluída a proximidade às ETARs como critério de escolha do local de implementação das CDA.

⇒ Deve ser equacionada futuramente a utilização do calor excedente do processo em instalações industriais e/ou edifícios das redondezas, sendo necessário proceder ao seu levantamento e avaliação.

⇒ Deverá ser verificada a existência de rede gás natural e efectuar uma análise da viabilidade de injecção do biogás purificado nesta rede;

⇒ Deve ser analisada a viabilidade de construção de CDA com capacidades mais elevadas do que as construídas até agora, a qual deve ser realizada por parte de uma equipa de projecto devidamente conhecedora das características de construção civil, funcionamento do processo, electricidade, segurança, logística, etc..

⇒ Uma análise futura mais complexa recai sobre a execução de uma avaliação de cenários com a consideração de diferentes números de CDA a implementar, e consequentes diferentes capacidades associadas, várias localizações possíveis à sua implementação, diferentes combinações das fontes geradoras envolvidas, entre outros parâmetros que se achem pertinentes. A análise deve ser feita em termos económicos, técnicos, ambientais e sociais.

⇒ Numa análise técnica e económica mais avançadas devem ser solicitadas propostas de empresas e pode ser elaborado um modelo de gestão e financiamento. Os produtores devem ser questionados quanto à aceitação do tratamento dos resíduos e possível pagamento a efectuar nesse sentido.

- Todo o presente estudo deve ter em consideração que a tendência actual é para a diminuição crescente do número de bovinos na AMP (embora cada vez as explorações sejam de maiores dimensões), pelo que toda a análise deve ser tomada com as devidas precauções.

9.3 Apreciação final

Considera-se o trabalho desenvolvido de muita importância, na medida em que fornece um importante contributo na busca por uma solução de tratamento dos resíduos pecuários da AMP, permitindo mitigar a poluição ambiental associada ao destino final que lhes é dado actualmente. Uma vez que se trata de um projecto muito ambicioso e com uma grande quantidade de abordagens possíveis, ficou a pena da impossibilidade de realização de um estudo mais complexo no âmbito de uma tese de mestrado. Espera-se sinceramente que este trabalho tenha continuidade no futuro.

Referências

ADENE - Agência de Energia (2003), *Estudo de viabilidade do tratamento centralizado de resíduos agro-pecuários no Concelho de Montemor-o-Novo*, Relatório final elaborado para a Câmara Municipal de Montemor-o-Novo no âmbito do projecto PIGS – Projecto Integrado para Gestão de Suiniculturas, financiado através do Programa LIFE-Ambiente.

AD-Nett - The European Anaerobic Digestion Network, dados de Abril de 2005, http://www.adnett.org/, acedido a 24 de Junho de 2011.

AEAEE – AEA Energy & Environment (2007), *Outline Feasibility of Centralised Anaerobic Digestion Plants linked to Dairy Supply Chain*, elaborado para Dairy UK, Institute of Grassland and Environmental Research e Department for Environmental Food and Rural Affairs, AEAT/ENV/R/2408 (ED05338) Final Report (Issue 3).

AEAT – AEA Technology (2005), *Assessment of Methane Management and Recovery Options for Livestock Manures and Slurries*, Relatório final elaborado para Sustainable Agriculture Strategy Division e Department for Environmental Food and Rural Affairs, AEAT/ENV/R/2104.

Al Seadi, T. (2000), *Danish Centralised Biogas Plants – Plant Descriptions*, Bioenergy Department, University of Southern Denmark.

Arati, J. M. (2009), *Evaluating the Economic Feasibility of Anaerobic Digestion of Kawangware Market Waste*, Dissertação de Mestrado, Department of Agricultural Economics, College of Agriculture, Kansas State University.

Baldwin, S., Lau, A., Wang, M. (2009), *Development of a Calculator for the Techno-economic Assessment of Anaerobic Digestion Systems*, Relatório final elaborado para BC Ministry of Agriculture e Land e BC Life Sciences.

Balsam, J. (2006), *Anaerobic Digestion of Animal Wastes: Factors to Consider*, Publicação de ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service, 1-800-346-9140.

Berardino, S. D. (2009), *Energia da Biomassa em Portugal: Potencialidades*, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Workshop Novas Oportunidades na Gestão de Resíduos, Lisboa, 2 de Abril de 2009.

Bicudo, J. R., Ribeiro, R. (1996a), *Efluentes produzidos nas explorações de gado leiteiro: Características e efeitos poluentes*, Ver. Holstein, Nº 4, p. 38-44.

Bicudo, J. R., Ribeiro, R. (1996b), *Efluentes produzidos nas explorações de gado leiteiro: Tecnologias de tratamento - digestão anaeróbia*, Rev. Holstein, Nº 6, p. 52-57.

Birkmose, T., Foged, H. L., Hinge, J. (2007), *State of biogas plants en European agriculture*, Danish Agricultural Advisory Service – National Centre, elaborado para European Parliament, IP/B/AGRI/IC/2007-020.

Burke, D. A. (2001), *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook: Options for Recovering Beneficial Products from Dairy Manure,* Environmental Energy Company, 360-923-2000.

CBPA – Código de Boas Práticas Agrícolas para 2009 (2009), *Anexo II – Quantidade média de nutrientes principais excretados anualmente por unidade animal de diferentes espécies pecuárias e sua conversão em cabeça normal (CN)*, documento em revisão, Regime do Exercício da Actividade Pecuária, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.

Cervi, R. G., Esperancini, M. S. T., Bueno, O. C., (2010), *Viabilidade Económica da Utilização do Biogás produzido em Granja Suinícola para Geração de Energia Eléctrica*, *Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.5, p.831-844, set./out. 2010.*

Chavez-Vazquez, M., Bagley, D. M. (2002), *Evaluation of the Performance of Different Anaerobic Digestion Technologies for Solid Waste Treatment*, Department of Civil Engineering, University of Toronto.

Cheng, C. Y., (2009), *Tratamento Biológico de Lamas* (documento de texto e documento Excel – Anexo 5-2-1), apontamentos da disciplina Tecnologias e Sistemas de Tratamento de Águas I, Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, versão 2008-1, última actualização: 24/11/2009.

Chibante, V. G.; Ferraz, M. C. A. (2009), Diapositivos da disciplina de Gestão e Controlo de Emissões Gasosas, Departamento de Engenharia Química, Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Cordebella, A. (2006), *Viabilidade do uso do biogás da bovinicultura e suinicultura para geração de energia eléctrica e irrigação em propriedades rurais*, Dissertação de Mestrado, Engenharia de Sistemas Agroindustriais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil.

Cordebella, A., Souza, S. N. M., Souza., J., Koheler, A. C., (2006), *Viabilidade da cogeração de energia eléctrica com biogás da bovinicultura de leit*e, artigo apresentado no 6 º Congresso Internacional sobre geração Distribuída e Energia no Meio Rural – AGRENER GD 2006, 6 a 8 de Junho de 2006, Campinas, Brasil.

Decreto-Lei nº 73/2009, (RAN – Reserva Agrícola Nacional), Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Diário da República, 1ª série, nº 63, de 31 de Março.

Decreto-Lei nº 122/2006, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Diário da República, 1ª série, nº 122, de 27 de Junho.

Decreto-Lei nº 166/2008, (REN – Reserva Ecológica Nacional), Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Diário da República, 1ª série, nº 162, de 22 de Agosto.

Decreto-Lei nº 178/2006, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Diário da República, 1ª série, nº 171, de 5 de Setembro.

Decreto-Lei nº 194/2000, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Diário da República, 1ª série, nº 192, de 21 de Agosto.

Decreto-Lei nº 202/2005, Diário da República, 1ª série, nº 226, de 24 de Novembro.

Decreto-Lei nº 214/2008, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Diário da República, 1ª série, nº 218, de 10 de Novembro.

Decreto-Lei nº 225/2007, Ministério da Economia e da Inovação, Diário da República, 1ª série, nº 105, de 31 de Maio.

Demuynck, M., Nyns, E.J. and Palz, W. (1984), *Biogas plants in Europe. A practical handbook*, D. Reidel Publ., Dordrecht, Holanda.

Directiva 96/61/CE do Conselho de 24 de Setembro de 1996 relativa à prevenção e controlo integrados da poluição, Jornal Oficial nº L 257 de 10/10/1996, p. 0026-0040.

DRAEDM – Direcção Regional de Agricultura do Entre Douro e Minho, IDARN – Instituto para o Desenvolvimento Agrário da Região Norte, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Universidade do Porto – CIBIO (2007), *Plano de Ordenamento da Bacia Leiteira Primária do Entre Douro e Minho*, volume I, Relatório final.

Durão, V. L. C. (2009), *Análise Comparativa de Sistemas Centralizados e Descentralizados de Valorização de Chorumes de Suiniculturas, utilizando o Software UMBERTO*, Dissertação de Mestrado, Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária, Departamento de Ciência e Engenharia Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Escobar, G. J., Heikkilä, M. A. (1999), *Biogas production in farms, though anaerobic digestion of cattle and pig manure. Case Studies and research activities in Europe*, elaborado para TEKES, OPET Finlândia.

ETSU – Energy Technology Support Unit (1997), *Anaerobic digestion of farm and food processing residues - Good Practice guidelines*, Reino Unido.

Ferreira, A. M. N. (2009), *Modelo de Gestão de afluência a Digestor Anaeróbio*, Dissertação de Mestrado, Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária, Departamento de Ciência e Engenharia Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Fischer, T., Krieg, A. (2000), *Farm-scale Biogas Plants*, Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, Alemanha.

Fujino, J., Morita, A., Matsuoka, Y., Sawayama, S. (2005), *Vision for utilization of livestock residue as bioenergy resource in Japan*, Biomass and Bioenergy 29 (2005) 367–374.

Gerardi, M. H. (2003), *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN 0-471-20693-8.

Gomez, C. C. G., Guest, C. (2004), *Current progress and practice in the adoption of anaerobic digestion in the European Union*, Biogas in Society, European Biogas Conference, Enniskillen – Northern Ireland, 21-23 October 2004.

Gonçalves, C. S. (2010), *Avaliação do Potencial de Geração de Biogás a partir de Resíduos de Boviniculturas na Área Metropolitana do Porto*, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Gonçalves, M. S. (2005), *Gestão de Resíduos Orgânicos*, SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação, Consultadoria Empresarial e Fomento da Inovação, S. A., Porto, ISBN 972-8589-49-2.

Hamilton, D. W. (n .d.), *Anaerobic Digestion of Animal Manures: Understanding the Basic Processes*, Oklahoma Cooperative Extension Service, Oklahoma State University, BAE-1747.

Hjort-Gregersen, K. (1999), *Centralised Biogas Plants – Integrated Energy Production, Waste Treatment and Nutrient Redistribution Facilities*, Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics.

IDEA – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), *Biomasa: Digestores anaerobios*, ISBN-13: 978-84-96680-21-0.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2009a), *Indicadores Agro-Ambientais 1989-2007*, ISBN 978-989-25-0041-6.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2009b), *Instituto Nacional de Estatística – Estatísticas Territoriais*, dados de 2009, http://www.ine.pt, acedido a 14 de Junho de 2011.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2009c), *Instituto Nacional de Estatística – Base de Dados*, dados do Recenseamento Agrícola de 2009, http://www.ine.pt, acedido a 30 de Junho de 2011.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2011), *Recenseamento Agrícola 2009 – Análise dos principais resultados*, ISBN 978-989-25-0108-6.

Juniper (2007), *Commercial Assessment: Anaerobic Digestion Technology for Biomass Projects*, BioREGen.

Karagiannidis, A., Perkoulidis, G. (2009), *A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes*, Bioresource Technology 100, 2355–2360.

Karellas, S., Boukis, I., Kontopoulos, G. (2010), *Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 1273–1282.

Lazarus, W. F. (2009), *Anaerobic Digester Technology*, Transition to a Bio Economy – The Role of extension in Energy, June 2009 Conference, Little Rock, Arkansas.

Lei nº 46/2008, Diário da República, 1ª série, nº 165, de 27 de Agosto.

MADRP – Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (1997), *Código de Boas Práticas Agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola*.

MAOTDR – Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2007), *Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais (ENEAPAI)*, ISBM 978-989-8097-02-6.

Ministério do Ambiente e da Energia da Dinamarca (MAED) (2000), Decreto-Lei nº 49, de 20 de Janeiro de 2000 relativo à utilização de produtos derivados de resíduos para fins agrícolas.

Murphy, J. D., Power, N. M. (2006), *A Technical, Economic and Environmental Comparison of Composting and Anaerobic Digestion of Biodegradable Municipal Waste*, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 41:5, 865 – 879.

Nguyen, P. H. L., Kuruparan, P., Visvanathan, C. (2007), *Anaerobic digestion of municipal solid waste as a treatment prior to landfill*, Bioresource Technology 2007, 98:380e7.

Nielsen L. H., Hjort-Gregersen K. (2002), *Socio-economic Analysis of Centralised Biogas Plants*, Report nr. 136, Risø National Laboratory and University of South Denmark.

Ogejo, J. A., Wen, Z., Ignosh, J., Bendfeldt, E., Coolins (2009), *Biomethane Technology*, Virginia Cooperative Extension, Publication 442-881.

PDM – Oliveira de Azeméis, Regulamento do PDM.

Pereira, J. L. S. (2005), *Manipulação de efluentes de bovinicultura, pré-tratamento e aplicação ao solo*, Dissertação de Mestrado, Engenharia Sanitária, Departamento de Ciência e Engenharia Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Pinho, P. (2009), *Atlas da Grande Área Metropolitana do Porto*, Laboratório de Planeamento da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Junta Metropolitana do Porto.

Portaria nº 631/2009, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Diário da República, 1ª série, nº 111, de 9 de Junho.

Raven, R. P. J. M., Gregersen, K. H. (2005), *Biogas plants in Denmark: successes and setbacks*, Renewable and Sustainable Energy Reviews xx (2005) 1–18.

Regulamento (CE) nº 1774/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 3 de Outubro, que estabelece regras sanitárias relativas aos subprodutos animais não destinados ao consumo humano.

Santos, P. J. P. (2005), *Modelo para Análise da Viabilidade Técnica e Financeira da Co-Digestão de Resíduos Orgânicos em Sistemas Colectivos: Aplicação ao Caso de Montemor-o-Novo*, Dissertação de Mestrado, Bioenergia, Grupo de Disciplinas de Ecologia da Hidrosfera, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Soares, M., Castanheira, E., Costa, M. L., Ribeiro, C., Pereira, C. D. (2005), *A Digestão Anaeróbia no tratamento de efluentes de origem bovina: viabilidade em explorações da Beira Litoral e Entre Douro e Minho*, CERNAS, Escola Superior Agrária de Coimbra.

Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S. (1993); Integrated solid waste management; McGraw- Hill International Editions.

Teixeira, J. I. (2011), *Viabilidade sócio-económica da implementação de digestores anaeróbios para o tratamento de resíduos provenientes das explorações bovinas da Grande Área Metropolitana do Porto*, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Tricase, C., Lombardi, M. (2009), *State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations*, Renewable Energy 34 (2009) 477-485.

US EPA – United States Environmentaal Protection Agency, última actualização a 24 de Setembro de 2010, http://www.epa.gov/agstar/anaerobic/, acedido a 9 de Junho de 2011.

US EPA – United States Environmental Protection Agency (2004), *AgSTAR Handbook*, A Manual For Developing Biogas Systems at Commercial Farms in the United States, EPA-430-B-97-015.

USDA – United States Department of Agriculture (2007), *An Analysis of Energy Production Costs from Anaerobic Digestion Systems on US Livestock Production Facilities*, Technical Note No.1.

Vandevivere, P., De Baere, L., Verstraete, W. (2003), *Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes, Types of anaerobic digesters for solid wastes*, Departamento de Engenharia Química, Universidade de Barcelona, Barcelona, Espanha, IWA Publishing.

Varec (2011), Varec Biogas, http://www.varec-biogas.com/, acedido a 9 de Julho de 2011.

Verma, S. (2002), *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes*, Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines), Fu Foundation School of Engineering & Applied Science, Columbia University.

Walsh, J. L., Ross, C. C., Smith, M. S., Harper, S. R., Wilkins, W. A. (1988), *Biogas Utilization Handbook*, Georgia Tech Research Institute, , Environmental, Health and Safety Division, elaborado para U. S. Department of Energy, Southeastern Regional Biomass Energy Program.

Zhao, Q., Leonhardt, E., MacConnel, C., Freae, C., Chen, S. (2010), *Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion*, Climate Friendly Farming, CSANR Research Report 2010 – 001.

Anexo 1 Nomenclatura dos bovinos

Na produção de leite, as fêmeas com 2 ou mais anos que já tenham parido pelo menos uma vez e que se encontrem em lactação, sendo o leite usado para consumo humano, são designadas de vacas leiteiras (INE, 2011). Se lactação for interrompida, o que pode ser conseguido por diminuição da frequência da ordenha ou cessão total da mesma, permitindo as vacas ficarem prontas a parir novamente, estas recebem a designação de vacas secas. Os machos com 2 ou mais anos designam-se de bovinos de recria.

Na produção de carne, as fêmeas com 2 ou mais anos de idade que já tenham parido pelo menos uma vez e que não sejam consideradas vacas leiteiras, não sendo geralmente separadas das suas crias após o parto, tendo assim possibilidade de amamentá-las, são designadas de vacas aleitantes (INE, 2011). Por sua vez, os machos com 2 ou mais anos são designados de bovinos de engorda intensiva.

Em ambos os tipos de produção, as crias das vacas têm o nome de vitelos/vitelas até aos 6 meses de idade, são designados de bezerros/bezerras de 6 meses a 1 ano de idade e denominam-se novilhos/novilhas os animais com 1 a 2 anos de idade.

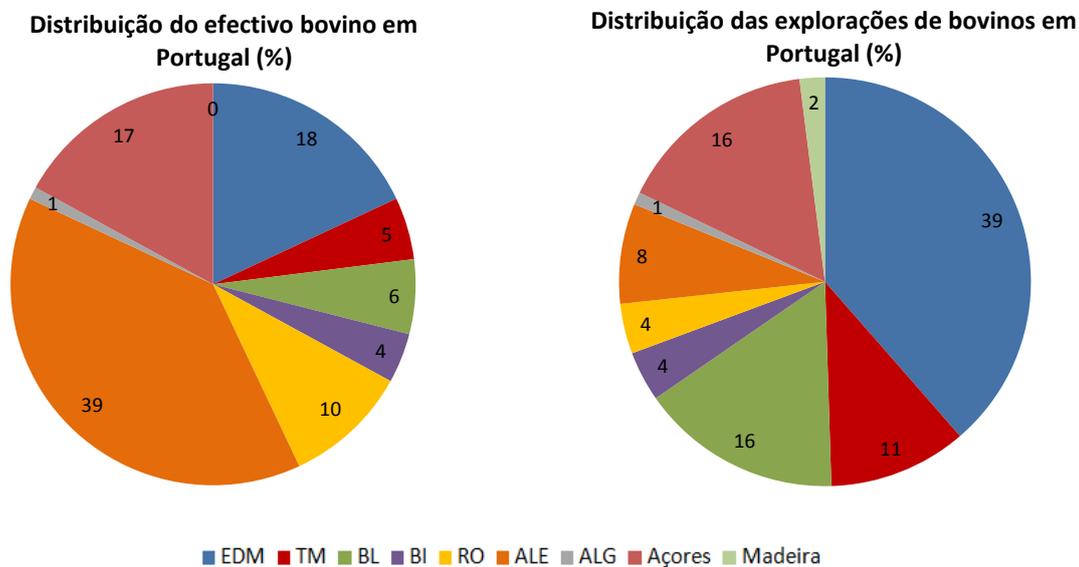
Anexo 2 Efectivo bovino, número de explorações e dimensão média das explorações em Portugal

Figuras i e ii. Distribuição do efectivo bovino e das explorações de bovinos, respectivamente, em Portugal (%) (adaptado de: INE, 2011)

Figura iii. Dimensão média das bovinicultura em Portugal (cabeças/exploração) (adaptado de: INE, 2011)

Anexo 3 Tendência de desenvolvimento das boviniculturas em Portugal

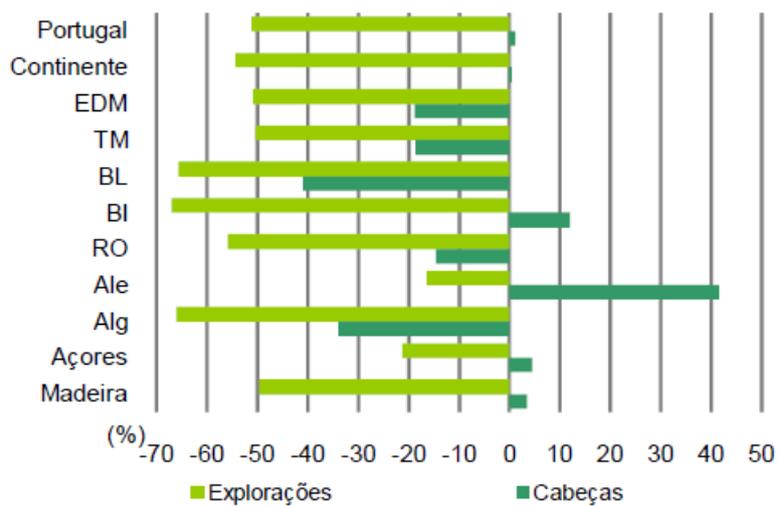



Figura iv. Variação do número de explorações e cabeças (efectivo bovino), por região (fonte: INE, 2011)

Anexo 4 Número de explorações por tipo de estabulação

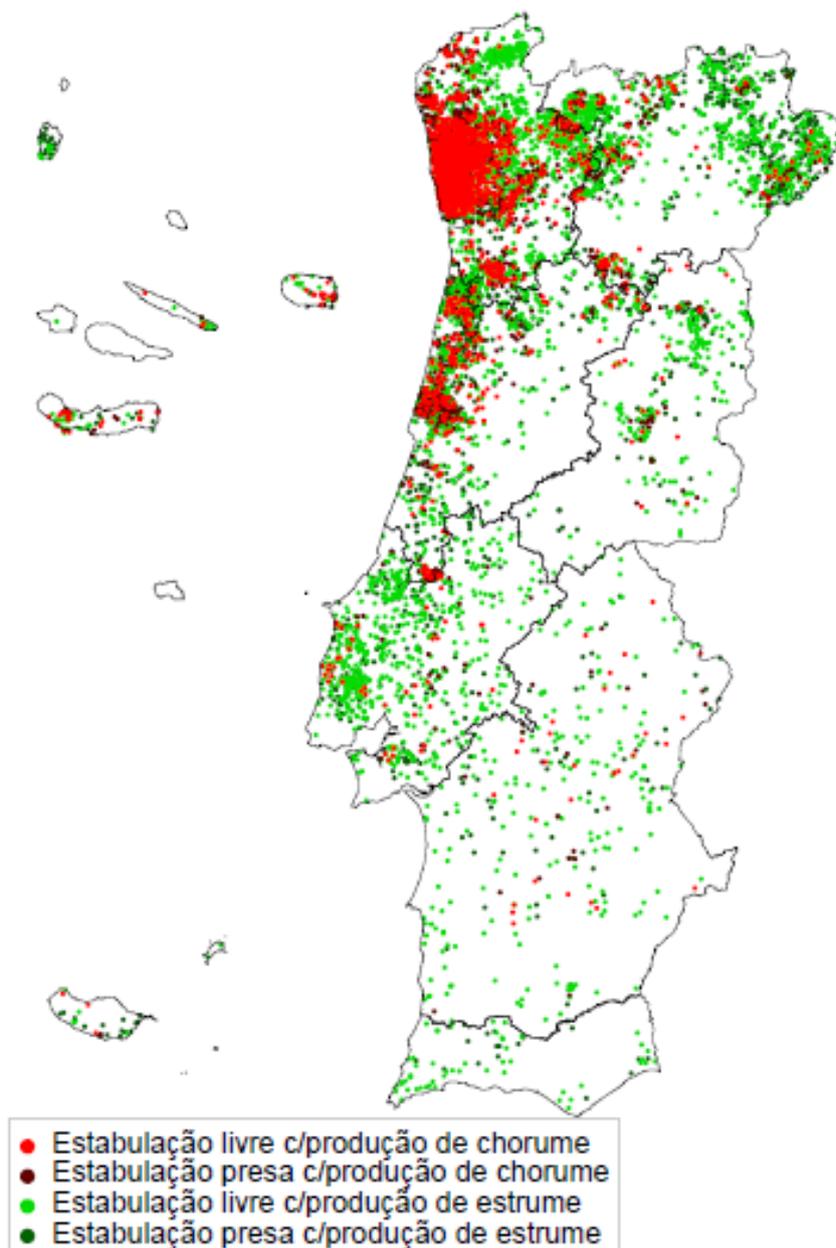



Figura v. Número de explorações por tipo de estabulação de bovinos em 2009 (fonte: INE, 2011)

Anexo 5 Considerações tidas na caracterização dos chorumes e estrumes quanto às quantidades e composição média

A Tabela 4, referente às quantidades de chorume e estrume, apresenta as seguintes considerações.

As quantidades de chorume referidas correspondem a chorume não diluído, isto é, exclusivamente aos dejectos totais, excluindo a adição de águas de lavagens ou pluviais; para além das características dos animais e do sistema de exploração, a produção de estrume ou de chorume depende do sistema de estabulação, e, assim, se o sistema de estabulação previr a produção conjunta de estrumes e chorumes devem ser atribuídas percentagens a cada um destes resíduos; para as vacas leiteiras os valores são reportados a uma produção média de 7 000 kg de leite; no caso dos bovinos de recria com menos de 1 ano, de 1 a 2 anos, ou com mais de 2 anos, o volume de efluentes produzidos por animal e ano deve ser de 5, 7, ou 10 t de estrume ou 5,5, 8 e 11 m^3 de chorume, respectivamente, com as mesmas características dos efluentes das vacas aleitantes (CBPA, 2009).

A Tabela 5, referentes á composição média de chorume e estrume, apresenta as seguintes considerações.

O valor de N_t inclui as perdas de N (principalmente na forma de amoníaco). Para os bovinos, estas perdas são de 15% se a estabulação for presa e de 20% se for livre. O N_{disp} corresponde à fracção que resulta da mineralização do N orgânico que pode ser utilizada pelas culturas em condições óptimas, incluindo o N que está disponível a curto prazo, bem como o N que ficará disponível nos anos seguintes. Nas parcelas de terreno que recebem regularmente estrumes ou chorumes será o valor de N_{disp} que deverá ser tomado em conta no plano de fertilização, pois assim entra-se em consideração com o efeito residual do azoto fornecido através daqueles efluentes em anos anteriores. Nos chorumes e estrumes das boviniculturas devem considerar-se os valores superiores do intervalo de variação do N_{disp} apresentado. No caso de uma aplicação isolada de estrume ou chorume, a percentagem do N_t que ficará disponível para a cultura no 1 º ano pode ser estimada em cerca de 20% para o estrume e 60% para o chorume (CBPA, 2009).

Anexo 6 Cabeças Normais

Cabeça Normal (CN) é a unidade padrão de equivalência usada para comparar e agregar números de animais de diferentes espécies ou categorias, tendo em consideração a espécie animal, a idade, o peso vivo e a vocação produtiva. No DL nº 214/2008, referente ao REAP nas explorações pecuárias, entrepostos e centros de agrupamento, Anexo II, Tabela nº 2, encontra-se a relação entre a espécie e tipo de animal e as CN. A Tabela i recria a tabela apresentada no DL, com referência somente aos bovinos.

Tabela i. Equivalências em CN para os bovinos (adaptado de: DL nº 214/2008)

Tipo de animal	CN
Vaca leiteira com > 600 kg e/ou produção de leite > 7 000 kg	1,20
Bovino ou vaca aleitante com > 500 kg Vaca leiteira com < 7 000 kg	1, 00
Vaca aleitante – raças ligeiras com > 24 meses e < 500 kg em peso vivo	0,80
Bovino com 6 a 24 meses (bezerro e novilho)	0,60
Bovino com < 6 meses (vitelo)	0,40

Anexo 7 Processo de Digestão Anaeróbia

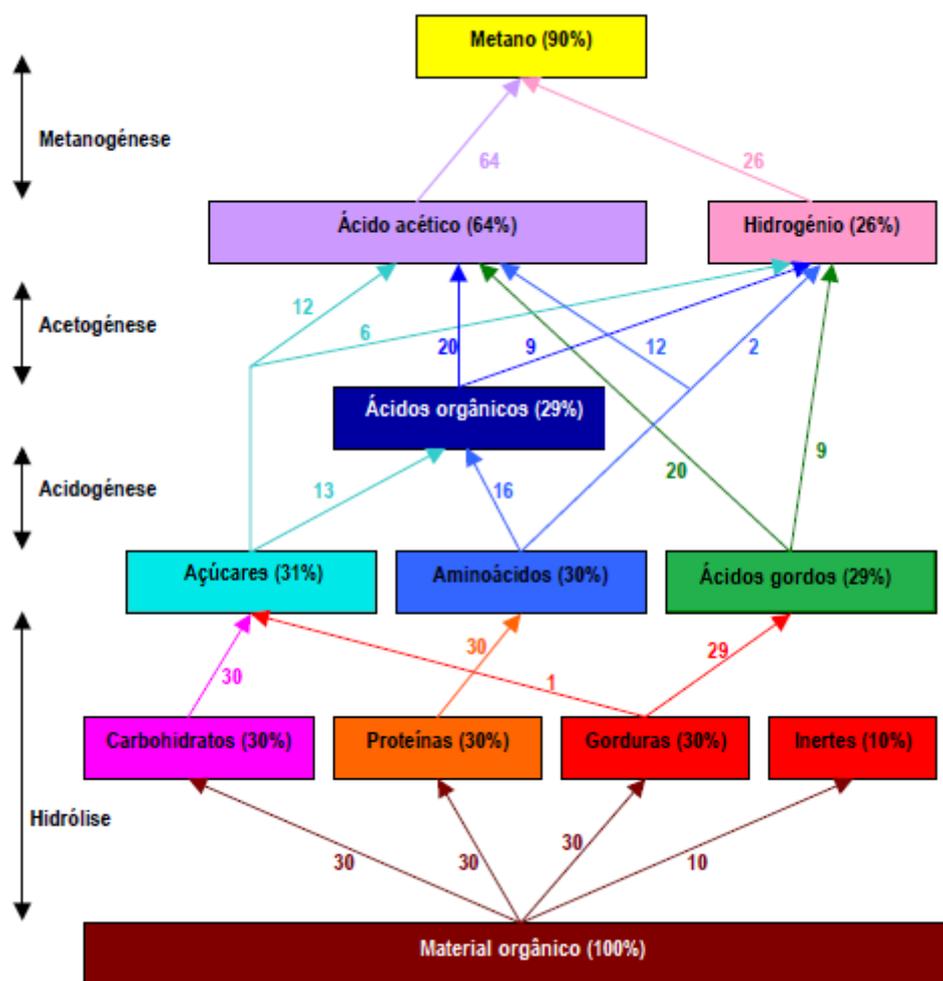



Figura vi. Esquema do processo de DA (adaptado de: Cheng, 2009)

Anexo 8 Número de sistemas individuais e centralizados na Europa

Tabela ii. Número de sistemas individuais e centralizados na Europa

	Número de sistemas de DA		
País	**Sistemas individuais**	**Sistemas centralizados**	**Referências**
Alemanha	3 279		Birkmose et al., 2007
Áustria	119		AD-Nett, 2005
Bélgica	5		AD-Nett, 2005
Dinamarca	58	20	AEAT, 2005
Eslováquia	1		Birkmose et al., 2007
Eslovénia	2		Birkmose et al., 2007
Espanha	2		Birkmose et al., 2007
Estónia	1		Birkmose et al., 2007
Finlândia	5		Birkmose et al., 2007
França	5		AD-Nett, 2005
Grécia	1		AD-Nett, 2005
Holanda	40		Birkmose et al., 2007
Hungria	1		Birkmose et al., 2007
Irlanda	5		Birkmose et al., 2007
Itália	67	5	AD-Nett, 2005; Gomez e Guest, 2004
Lituânia	4		AD-Nett, 2005
Luxemburgo	22		Birkmose et al., 2007
Noruega	2		Birkmose et al., 2007
Polónia	15		AD-Nett, 2005
Portugal	**100**		**AD-Nett, 2005**
Suécia	11		Birkmose et al., 2007
Suíça	71		AEAT, 2005
Reino Unido	20	1	Gomez e Guest, 2004; Birkmose et al., 2007
República Checa	10		AD-Nett, 2005

Anexo 9 Centrais de Digestão Anaeróbia implementadas na Dinamarca

Tabela iii. Características técnicas dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca – Características dos Substratos									
	V. Hjermitslev	**Vegger**	**Davinde**	**Sinding-Ørre**	**Fangel**	**Revninge**	**Ribe**	**Lintrup**	**Lemvig**	**Hodsager**
Ano de construção	1984	1985	1988	1988	1989	1989	1990	1990	1992	1993
Capacidade do digestor (m^3)	1 500	800	750	2 100	3 200	540	4 650	6 900	7 000	880
Nº explorações	5	7	6	35	26	2	79	62	80	6
Res. Bovinos (m^3/ano)	7 015	13 656	6 728	11 980	11 541	5311	91 164	45 671	51 031	10 449
Res. Suínos (m^3/ano)	3 595	-	4 707	23 654	32 462	2206	24 492	32 494	67 372	1 619
Res. Aves (m^3/ano)	-	-	-	-	2482	-	917	-	-	-
Outros res. (m^3/ano)	-	-	-	86	2019	-	2 347	13 130	1 075	180
Total res. agro-pecuários (m^3/ano)	10 610	13 656	11 435	35 720	48 504	7517	118 920	91 295	119 478	12 248
Outros res.[7] (m^3/ano)	5 636	6 898	755	13 723	9 143	2272	43 058	37 870	36 909	6 234
Total res. (m^3/ano)	16 246	20 554	12 190	49 443	57 647	9789	161 978	129 165	156 387	18 482

[7] Inclui: lamas de ETARs, resíduos industriais, RSU, entre outros.

Tabela iii (cont.). Características técnicas dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca									
	Características dos Substratos									
	Hashøj	**Thorsø**	**Århus**	**Filskov**	**Studsgård**	**Blåbjerg**	**Snertinge**	**Blåhøj**	**Vaarst/Fjellerad**	**Nysted**
Ano de construção	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1996	1997	1997	1998
Capacidade do digestor (m^3)	2 900	4 600	7 500	880	6 000	5000	2 800	2 800	2 000	5 000
Nº explorações	17	75	45	7	50	58	14	15	14	35
Res. Bovinos (m^3/ano)	7 822	29 432	18 413	17 655	13 908	58 650	9 949	20 821	8 458	8 841
Res. Suínos (m^3/ano)	17 718	45 232	103 401	841	72 567	23 703	19 055	2 120	6 350	45 550
Res. Aves (m^3/ano)	-	1 138	-	-	-	-	-	-	-	165
Outros res. (m^3/ano)	1 957	15939	88	18	760	7 207	-	342	-	-
Total res. agro-pecuários (m^3/ano)	27 497	91 741	121 902	18 514	87 235	89 560	29 004	23 283	14 808	54 556
Outros res.[8] (m^3/ano)	18 657	23 272	17 443	11 506	24 235	25 373	14 805	6 992	16 489	3 793
Total res. (m^3/ano)	46 154	115 013	139 345	30 020	111 470	114 933	43 809	30 275	31 297	58 349

[8] Inclui: lamas de ETARs, resíduos industriais, RSU, entre outros.

Tabela iv. Características técnicas dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999; Al Seadi, 2000; Escobar e Heikkilä, 1999)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca entre 1984 e 1998									
	Características Técnicas									
	V. Hjermitslev	Vegger	Davinde	Sinding-Ørre	Fangel	Revninge	Ribe	Lintrup	Lemvig	Hodsager
Ano de construção	1984	1985	1988	1988	1989	1989	1990	1990	1992	1993
Total de resíduos (m^3/ano)	16 246	20 554	12 190	49 443	57 647	9789	161 978	129 165	156 387	18 482
Capacidade do digestor (m^3)	1 500 (3×500)	920 (4×230)	750	2 250 (3×750)	3 750 (2×1600+550)	540	5 235 (3×1745)	7 200 (3×2400)	7 600 (3×2533)	880 (2×440)
Nº de explorações	5	7	6	35	26	2	79	62	80	6
Gama de temperatura[9]	m (37 ºC)	t (55 ºC)	m (36 ºC)	t (51 ºC)	m (37 ºC)	m	t (53 ºC)	t (53 ºC)	t (52,5 ºC)	m (37 ºC)
TRH (dias)	34	15	28	16	21	15	12	20	17	n .d.
Produção de biogás (1000 m^3/ano)	1 492	2 013	282	2 348	2 275	355	4 762	3 718	5 302	656
Capacidade de armazenamento de biogás (m^3)	50	148	30	150	50	n.d.	1 000	1 000	5 000	100
Distância média de transporte (km)	1,5	5	5,7	5	6,5	n.d.	11	7,5	7,5	3

n.d. – não definido

[9] m – mesofílica; t - termofílica

Tabela iv (cont.). Características técnicas dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999; Al Seadi, 2000; Escobar e Heikkilä, 1999)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca entre 1984 e 1998									
	Características Técnicas									
	Hashøj	**Thorsø**	**Århus**	**Filskov**	**Studsgård**	**Blåbjerg**	**Snertinge**	**Blåhøj**	**Vaarst/Fjellerad**	**Nysted**
Ano de construção	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1996	1997	1997	1998
Total de resíduos (m^3/ano)	46 154	115 013	139 345	30 020	111 470	114 933	43 809	30 275	31 297	58 349
Capacidade do digestor (m^3)	3 000	4 650 (2×2325)	8 500 (2×3600+1300)	880 (2×440)	6 000 (2×3000)	5000 (2×2500)	3 000 (3×1000)	1 320 (2×660)	2 000	5 000
Nº de explorações	17	75	45	7	50	58	14	15	14	35
Gama de temperatura[10]	m (37 ºC)	t (53 ºC)	m (38 ºC)	t (53 ºC)	t (52 ºC)	t (53,5 ºC)	t (52,5 ºC)	t (53 ºC)	t	m (38 ºC)
TRH (dias)	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Produção de biogás (1000 m^3/ano)	2 504	3 281	3 860	1 224	5 841	3 300	1 694	1 353	2 382	1 450
Capacidade de armazenamento de biogás (m^3)	2 200	2 790	370	100	170	4 000	200	1 200	n.d.	2 500
Distância média de transporte (km)	4	7,5	5,5	4	5	5	5	5	n.d.	7

n.d. – não definido

[10] m – mesofílica; t - termofílica

Tabela v. Unidades constituintes dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca (adaptado de: Al Seadi, 2000)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca entre 1984 e 1998																			
	Unidades Constituintes[11]																			
	Vester Hjermitslev	**Vegger**	**Davinde**	**Sinding-Ørre**	**Fangel**	**Revninge**	**Ribe**	**Lintrup**	**Lemvig**	**Hodsager**	**Hashøj**	**Thorsø**	**Århus**	**Filskov**	**Studsgård**	**Blåbjerg**	**Snertinge**	**Blåhøj**	**Vaarst/Fjellerad**	**Nysted**
Tanque de vácuo		✓			✓	n.d.	✓			✓	✓			✓				✓	n.d.	✓
Tanque de recepção	✓	✓	✓	✓	✓	n.d.	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	n.d.	✓
Tanque de mistura				✓	✓	n.d.			✓		✓	✓				✓			n.d.	✓
Tanque intermédio					✓	n.d.													n.d.	
Digestor(es)	✓	✓	✓	✓	✓	n.d.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.d.	✓
Tanque de higienização	✓				✓	n.d.			✓		✓	✓	✓		✓	✓			n.d.	✓
Tanque de armazenamento do produto digerido	✓		✓	✓	✓	n.d.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.d.	✓
Sistema de purificação do biogás				✓	✓	n.d.		✓		✓		✓	✓			✓		✓	n.d.	
Gasómetro		✓			✓	n.d.		✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	n.d.	✓
Caldeira a gás	✓	✓	✓	✓	✓	n.d.	✓	✓		✓	✓						✓		n.d.	✓
Instalação de cogeração	✓	✓		✓	✓	n.d.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.d.	✓

n.d. – não definido

[11] Notas:

- O tanque de mistura pode-se encontrar antes ou depois do tanque de pré-armazenamento;
- Algumas instalações executam higienização dos resíduos antes de estes serem alimentados ao digestor, sendo no entanto mais comum uma higienização do produto digerido;
- Em alguns casos, o produto digerido e o biogás são armazenados no mesmo tanque.

Tabela vi. Investimento inicial dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca entre 1984 e 1998									
	Investimento Inicial									
	V. Hjermitslev	**Vegger**	**Davinde**	**Sinding-Ørre**	**Fangel**	**Revninge**	**Ribe**	**Lintrup**	**Lemvig**	**Hodsager**
Ano de construção	1984	1985	1988	1988	1989	1989	1990	1990	1992	1993
Capacidade do digestor (m^3)	1 500	800	750	2 100	3 200	540	4 650	6 900	7 000	880
Nº de explorações	5	7	6	35	26	2	79	62	80	6
Instalação[12] (1000 €)	1 514	1673	519	2 782	2 125	1 522	3 883	4 334	5 812	899
Veículos (1000 €)	80	47	80	335	174	87	496	410	479	67
Tanques de armazenamento de lamas nas explorações (1000 €)	-	-	-	389	691	-	1 690	319	1 113	-
Unidade de separação mecânica (1000 €)	-	-	-	-	396	-	-	778	-	-
Outros custos[13] (1000 €)	71	74	176	-	-	-	-	-	-	1 609
Investimento inicial total (1000 €)	**1 665**	**1 794**	**775**	**3 506**	**3 386**	**1 609**	**6 069**	**5 841**	**7 404**	**2 575**

[12] Unidade de DA, incluindo tanques de pré e pós armazenamento, tubagens e sistema de cogeração.
[13] Inclui: aerogeradores, unidades de incineração de palhas e outros componentes orgânicos, gasodutos para bombagem de lamas.

Tabela vi (cont.). Investimento inicial dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca entre 1984 e 1998									
	Investimento Inicial									
	Hashøj	**Thorsø**	**Århus**	**Filskov**	**Studsgård**	**Blåbjerg**	**Snertinge**	**Blåhøj**	**Vaarst/Fjellerad**	**Nysted**
Ano de construção	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1996	1997	1997	1998
Capacidade do digestor (m^3)	2 900	4 600	7 500	880	6 000	5000	2 800	2 800	2 000	5 000
Nº de explorações	17	75	45	7	50	58	14	15	14	35
Instalação[14] (1000 €)	2 454	3 433	7 270	1 274	6 243	4 748	2 495	2 213	4 151	4 251
Veículos (1000 €)	161	469	-	94	496	469	161	54	174	161
Tanques de armazenamento de lamas nas explorações (1000 €)	309	-	-	134	382	402	161	54	-	241
Unidade de separação mecânica (1000 €)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outros custos[15] (1000 €)	-	-	-	1610	349	-	3 595	2 159	-	1 204
Investimento inicial total (1000 €)	**2 924**	**3 902**	**7270**	**3 112**	**7 470**	**5 619**	**6 412**	**4 480**	**4 325**	**5 857**

[14] Unidade de DA, incluindo tanques de pré e pós armazenamento, tubagens e sistema de cogeração.
[15] Inclui: aerogeradores, unidades de incineração de palhas e outros componentes orgânicos, gasodutos para bombagem de lamas.

Tabela vii. Custos de O&M e receitas dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca entre 1984 e 1998								
	Custos de Operação e Receitas[16]								
	V. Hjermitslev	**Vegger**	**Davinde**	**Fangel**	**Revninge**	**Ribe**	**Lintrup**	**Lemvig**	**Hodsager**
Ano de construção	1984	1985	1988	1989	1989	1990	1990	1992	1993
Capacidade do digestor (m^3)	1 500	800	750	3 200	540	4 650	6 900	7 000	880
Nº de explorações	5	7	6	26	2	79	62	80	6
Custos de O&M (1000 €/ano)	278	328	49	344	164	762	720	877	203
Receitas (1000 €/ano)	395	527	52	654	198	1 279	1 183	1 461	364
Balanço económico (1000 €/ano)	117[17]	199[5]	3	310[5]	34[5]	517	463	584	161
Valor das receitas no ponto de equilíbrio (1000 €/ano)	127	94	36	375	34	349	483	563	161
Categoria	Em equilíbrio	Aceitável	Sob pressão	Insatisfatório	Em equilíbrio	Aceitável	Em equilíbrio	Aceitável	Em equilíbrio

[16] Não existem valores para as centrais Sinding-Ørre, Vaarst/Fjellerad e Nysted.
[17] Após obtenção de prorrogações de pagamentos de hipotecas.

Tabela vii (cont.). Custos de O&M e receitas dos sistemas centralizados implementados na Dinamarca entre 1984 e 1988 (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999)

	Sistemas Centralizados na Dinamarca entre 1984 e 1998							
	Custos de Operação e Receitas[18]							
	Hashøj	**Thorsø**	**Århus**	**Filskov**	**Studsgård**	**Blåbjerg**	**Snertinge**	**Blåhøj**
Ano de construção	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1996	1997
Capacidade do digestor (m^3)	2 900	4 600	7 500	880	6 000	5000	2 800	2 800
Nº de explorações	17	75	45	7	50	58	14	15
Custos de O&M (1000 €/ano)	307	565	1 170	252	1 653	549	429	243
Receitas (1000 €/ano)	572	899	920	476	2 099	1 059	721	491
Balanço económico (1000 €/ano)	265	334	-250	224	446	510	292	248
Valor das receitas no ponto de equilíbrio (1000 €/ano)	201	241	469	201	858	402	382	255
Categoria	Aceitável	Em equilíbrio	Insatisfatório	Sob pressão	Insatisfatório	Aceitável	Insatisfatório	Sob pressão

[18] Não existem valores para as centrais Sinding-Ørre, Vaarst/Fjellerad e Nysted.

Anexo 10 Dificuldades/considerações na obtenção das coordenadas geográficas das explorações pecuárias

- Algumas moradas foram fornecidas sem número da porta, pelo que, embora tenham sido marcadas na rua correcta, foram alvo de uma pequena aproximação. Em algumas situações a localização da exploração era perceptível através da imagem aérea do *Google Earth*;

- O *Google Earth* não reconheceu em alguns casos o número da porta, não existindo para as ruas em questão números da porta atribuídos. Recorreu-se ao *Google Maps* e ao *Bing Maps*, de modo a verificar se algum deles reconhecia o número da porta, mas em todos os casos não se obteve sucesso. Mais uma vez, procedeu-se a uma aproximação e em alguns casos foi detectável a partir da imagem aérea a localização da exploração;

- Surgiu o aparecimento de números oficiais de exploração repetidos associados a diferentes números de bovinos. Uma vez que há a possibilidade de o mesmo número oficial de exploração estar registado em mais do que um nome, podendo ser esse o motivo da sua repetição, e, por outro lado, no caso de um só número de efectivos ser o correcto, não se saber qual é, procedeu-se à soma do número de animais;

- Em alguns casos, a mesma morada encontrava-se associada a diferentes números oficiais de exploração. Tal situação é perfeitamente possível, visto que as mesmas instalações ou instalações contíguas podem comportar diferentes números de exploração;

- Em algumas situações, tinha-se a morada das explorações mas não existiam dados da DGV Norte, pelo que o mais certo é que as explorações tenham encerrado, tendo-se excluído estas.

- Noutros casos, existiam dados da DGV Norte mas não se possuía a morada, pelo que também estas explorações foram excluídas do estudo;

- Outras situações surgiram, como: identificação apenas de “rua” em vez de “travessa” e vice-versa; uma ou outra moradas correspondem a zonas urbanas, exclusivamente com moradias, pelo que o mais certo é que a morada fornecida corresponda não à morada da exploração pecuárias mas sim à residência do produtor, tendo-se excluído estas explorações; o nome de algumas ruas não estava actualizado, tendo-se corrigido este.

Anexo 11 Representação das áreas inconvenientes, convenientes e favoráveis

As áreas inconvenientes, convenientes e favoráveis[19] encontram-se representadas na Figura vii.

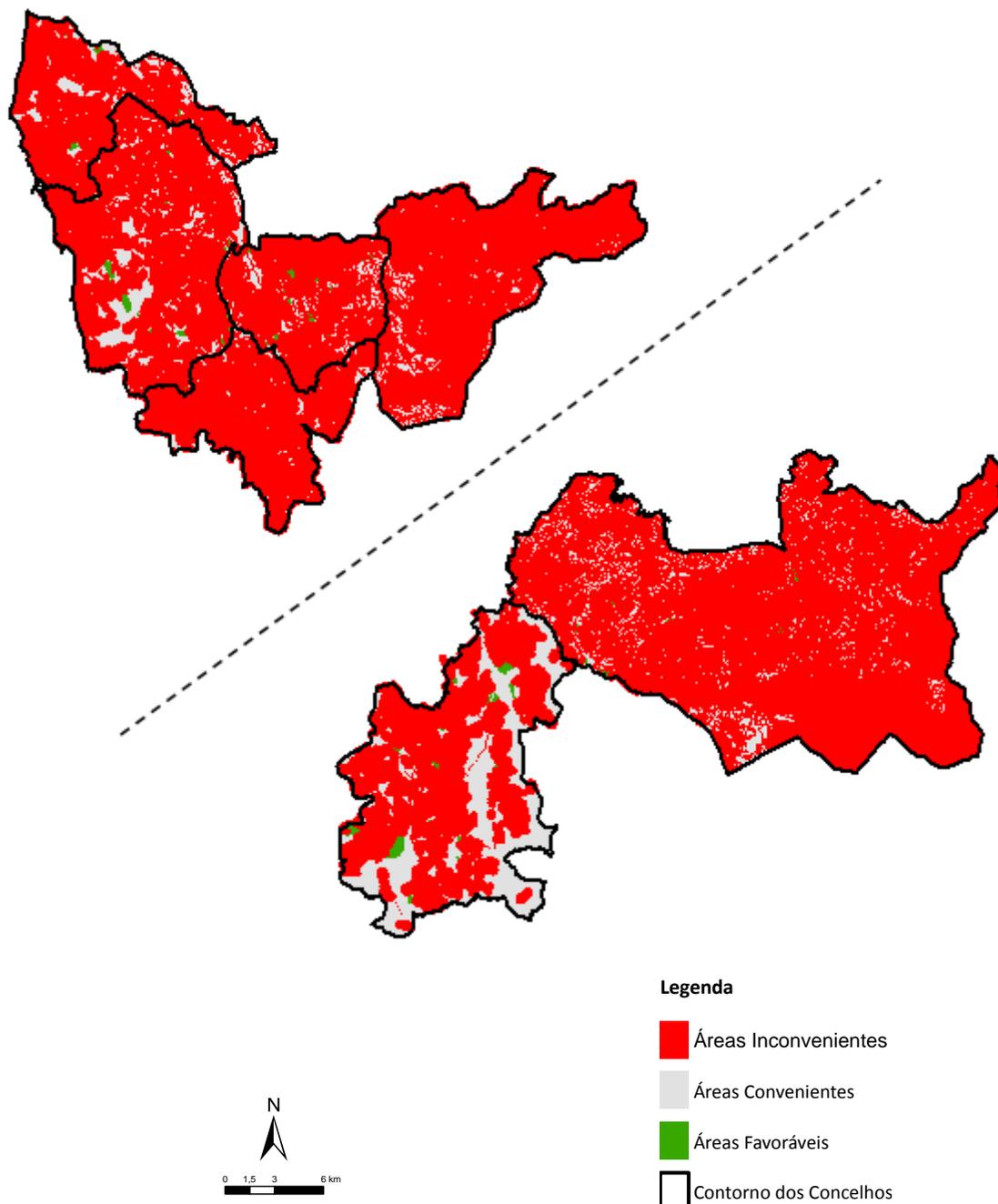



Figura vii. Áreas inconvenientes, conveniente e favoráveis

[19] As áreas favoráveis representadas correspondem somente à aplicação do 1 º critério, ou seja, correspondem às áreas industriais, pois a função de densidades não tem o mesmo formato de representação.

Anexo 12 Núcleos de Densidade *Kernel* aplicados aos 2 conjuntos de concelhos

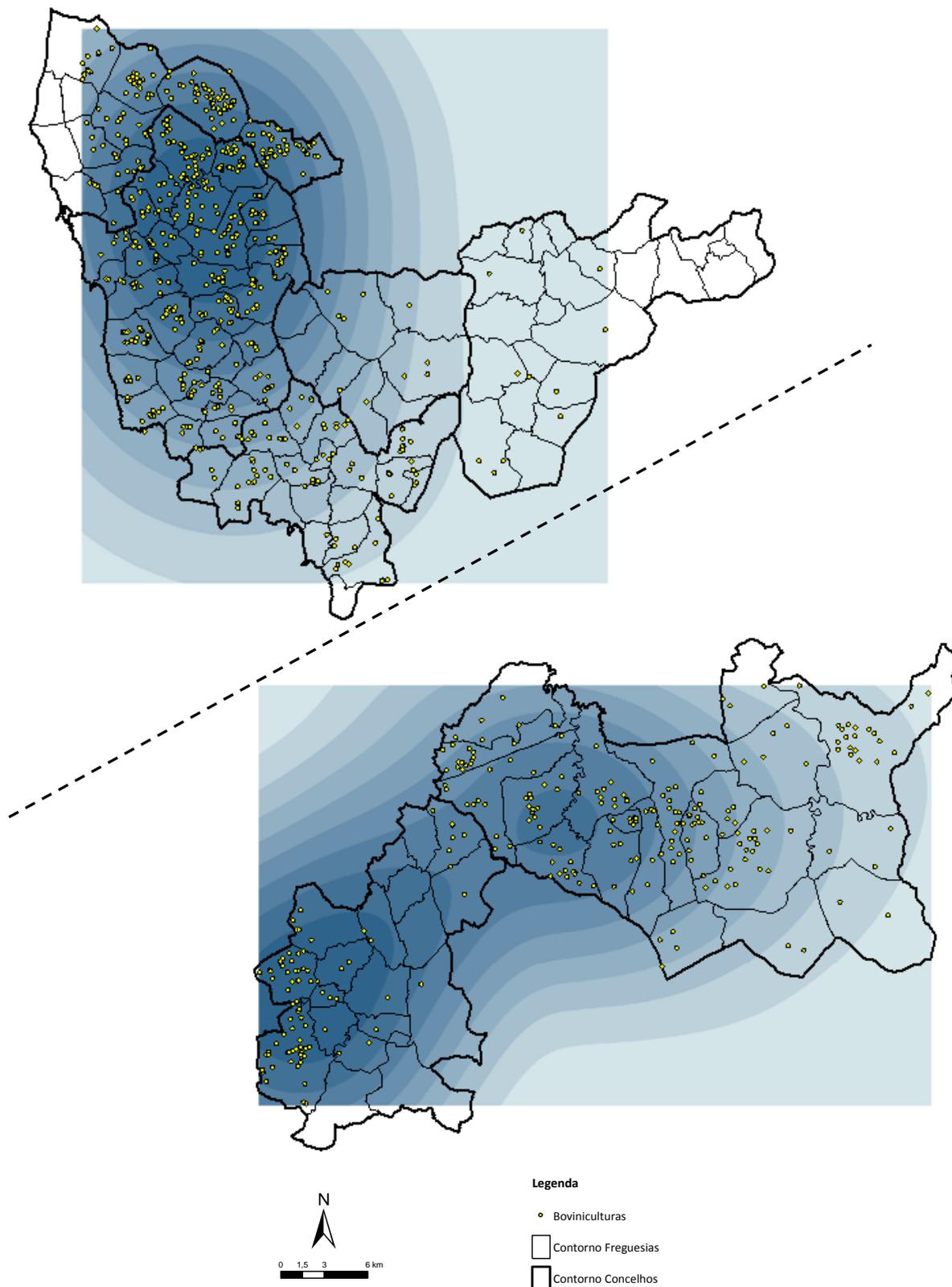



Figura viii. Representação da distribuição das boviniculturas e núcleos de densidade *Kernel* (raio de 15 km)

Anexo 13 Caracterização detalhada das Centrais de Digestão Anaeróbia

Tabela viii. Caracterização detalhada das CDA

Póvoa do Varzim **CDA1**	**CDA1**	**Localização:** Rates **Freguesias constituintes (4):** Estela, Laúndos, Terroso e Rates **Área total disponível:** 34,2 ha **Distância máxima CDA - Exploração:** 6 km **Número de explorações abrangidas:** 94 **Chorume afluente (m^3/ano):** 195 324 m^3/ano de 195 324 m^3/ano (100%)
Póvoa do Varzim e Vila do Conde **CDA2, CDA3**	**CDA2**	**Localização:** Rio Mau (fronteira entre Rio Mau e Touguinhó) (Vila do Conde) **Freguesias constituintes (8):** Póvoa do Varzim (5): Terroso, Amorim, Beiriz, Póvoa do Varzim, Argivai; Vila do Conde (3): Rio Mau, Touguinhó, Touguinha **Área total disponível:** 1,72 ha **Distância máxima CDA - Exploração:** 6 km **Número de explorações abrangidas:** 92 **Chorume afluente (m^3/ano):** 194 095 m^3/ano de 194 095 m^3/ano (100%)
	CDA3	**Localização:** Arcos (Vila do Conde) **Freguesias constituintes (3):** Póvoa do Varzim (1): Balazar; Vila do Conde (2): Outeiro Maior, Arcos **Área total disponível:** 4,5 ha **Distância máxima CDA - Exploração:** 4 km **Número de explorações abrangidas:** 86 **Chorume afluente (m^3/ano):** 192 332 m^3/ano de 192 332 m^3/ano (100%)
Vila do Conde **CDA4, CDA5, CDA6**	**CDA4**	**Localização:** Bagunte **Freguesias constituintes (6):** Junqueira, Bagunte, Macieira da Maia, Fornelo, Ferreiró, Parada **Área total disponível:** 3,6 ha (área favorável) + 3,7 ha (área conveniente) **Distância máxima CDA - Exploração:** 5 km **Número de explorações abrangidas:** 98 **Chorume afluente (m^3/ano):** 196 248 m^3/ano de 196 248 m^3/ano (100%)
	CDA5	**Localização:** Árvore **Freguesias constituintes (9):** Vila do Conde, Azurara, Retorta, Tougues, Árvore, Mindelo, Fajozes, Vairão, Vila Chã **Área total disponível:** 70,6 ha **Distância máxima CDA - Exploração:** 5 km **Número de explorações abrangidas:** 96 **Chorume afluente (m^3/ano):** 194 482 m^3/ano de 194 482 m^3/ano (100%)
	CDA6	**Localização:** Modivas **Freguesias constituintes (10):** Gião, Canidelo, Malta, Modivas, Labruge, Vilar, Guilhabreu, Mosteiró, Aveleda, Vilar de Pinheiro

		Área total disponível: 1, 78 ha (área favorável) + 1,64 ha (área conveniente) **Distância máxima CDA - Exploração:** 5 km **Número de explorações abrangidas:** 87 **Chorume afluente (m^3/ano):** 183 789 m^3/ano de 183 789 m^3/ano (100%)
Maia, Trofa e Santo Tirso **CDA7**	**CDA7**	**Localização:** Muro (Trofa) **Freguesias constituintes (10):** Maia (13): São Pedro de Avioso, Gemunde, Santa Maria de Avioso, Vila Nova da Telha, Moreira, Barca, Gondim, Silva Escura, Folgosa, São Pedro Fins, Milheirós, Gueifães, Águas Santas; Trofa (4): São Mamede do Coronado, Covelas, Santiago de Bougado, São Martinho de Bougado; Santo Tirso (8): Água Longa, Reguenga, Guimarei, Carreira, Refojos de Riba de Ave, Monte Córdova, Santo Tirso, Areias **Área total disponível:** 9,1 ha **Distância máxima CDA - Exploração:** 15 km **Número de explorações abrangidas:** 106 **Chorume afluente (m^3/ano):** 141 483 m^3/ano de 145 188 m^3/ano (97,4%)
Oliveira de Azeméis e Arouca	**CDA8**	**Localização:** São Roque (fronteira com Vila de Cucujães) (Oliveira de Azeméis) **Freguesias constituintes (33):** Oliveira de Azeméis (13): Loureiro, Travanca, Ul, Santiago de Riba - Ul, Madail, São Martinho da Gândara, Vila de Cucujães, São Roque, Oliveira de Azeméis, Ossela, Macinhata da Seixa, Carregosa, Fajões; Arouca (20): Escariz, Fermedo, São Miguel do Mato, Mansores, Chave, Tropeço, Rossas, Várzea, Urrô, Santa Eulália, Abergaria da Serra, Burgo, Arouca, Cabreiros, Moldes, Canelas, Espiunca, Covelo de Paivó, Janarde, Alvarenga **Área total disponível:** 2,5 ha (área favorável) + 16,4 ha (área conveniente) **Distância máxima CDA - Exploração:** 15 km **Número de explorações abrangidas:** 231 **Chorume afluente (m^3/ano):** 157 658 m^3/ano de 207 593 m^3/ano (75,9%)

Anexo 14 Higienização

Tabela ix. Higienização controlada equivalente a aquecimento a 70 ºC durante 1 hora (MAED, 2000)

		Tempo mínimo de retenção garantida num tanque de higienização separado[i] (h)	
Temperatura (ºC)	**Tempo mínimo de retenção garantida num digestor termofílico[ii] (h)**	**Antes ou depois da digestão num digestor termofílico[ii]**	**Antes ou depois da digestão num digestor mesofílico[iii]**
52,0	10		
53,5	8		
55,0	6	5,5	7,5
60,0		2,5	3,5

[i] A digestão pode ter lugar antes ou depois da higienização;
[ii] Digestão termofílica aqui definida como o tratamento com um TRH de, pelo menos, 7 dias à temperatura de 52 ºC;
[iii] Digestão mesofílica aqui definida como tratamento com um TRH de, pelo menos, 14 dias à temperatura de 20 – 52 ºC.

Anexo 15 Determinação do Investimento Inicial

Ajustou-se uma função potencial aos pontos apresentados na Tabela x. Foi necessário eliminar alguns pontos (os que estão a cinzento) de modo a se obter um R^2 elevado (com a inclusão de todos os pontos tem-se um R^2 = 0,4282, um valor muito baixo). Obteve-se a função representada na Figura ix.

Tabela x. Capacidade de tratamento *versus* investimento inicial unitário nas CDA implementadas na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999)

CDA	Capacidade de tratmento (m^3/ano)	Investimento inicial unitário (€/m^3)
V. Hjermitslev	16246	93
Vegger	20554	81
Davinde	12190	43
Sinding-Ørre	49443	56
Fangel	57647	37
Revninge	9789	155
Ribe	161978	24
Lintrup	129165	34
Lemvig	156387	37
Hodsager	18482	49
Hashøj	46154	53
Thorsø	115013	30
Århus	139345	52
Filskov	30020	42
Studsgård	111470	56
Blåbjerg	114933	41
Snertinge	43809	57
Blåhøj	30275	73
Vaarst/Fjellerad	31297	133
Nysted	58349	73

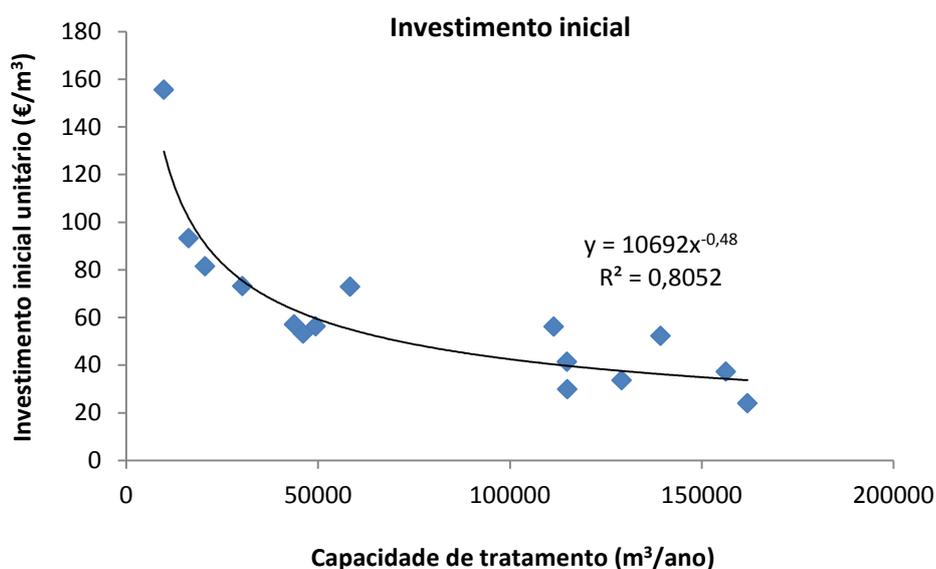



Figura ix. Representação gráfica da função para o cálculo do investimento inicial

Anexo 16 Determinação dos custos de O&M

Ajustou-se uma função potencial aos pontos apresentados na Tabela xi. Foi necessário eliminar alguns pontos (os que estão a cinzento) de modo a se obter um R^2 elevado (com a inserção de todos os pontos tem-se um $R^2 = 0{,}2521$, um valor muito baixo). Obteve-se a função representada na Figura x.

Tabela xi. Capacidade de tratamento *versus* custos de O&M unitários nas CDA implementadas na Dinamarca (adaptado de: Hjort-Gregersen, 1999)

CDA	Capacidade de tratamento (m^3/ano)	Custos de O&M unitários ((€/ano)/m^3)
V. Hjermitslev	16246	17,1
Vegger	20554	16,0
Davinde	12190	4,0
Fangel	57647	6,0
Revninge	9789	16,8
Ribe	161978	4,7
Lintrup	129165	5,6
Lemvig	156387	5,6
Hodsager	18482	11,0
Hashøj	46154	6,7
Thorsø	115013	4,9
Århus	139345	8,4
Filskov	30020	8,4
Studsgård	111470	14,8
Blåbjerg	114933	4,8
Snertinge	43809	9,8
Blåhøj	30275	8,0

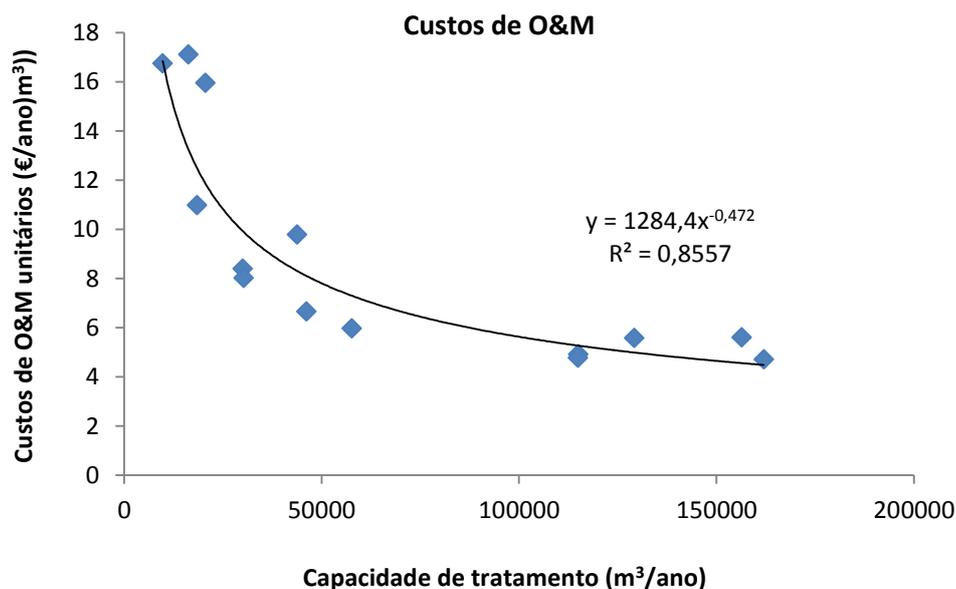



Figura x. Representação gráfica da função para o cálculo do investimento inicial

Anexo 17 Custos de Transporte

Tabela xii. Custos de transporte para a CDA1

							Total
Distância CDA-Bovinicultura (km)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	
Número de boviniculturas	13	20	36	9	6	10	94
Total de chorume (m^3/ano)	32249	46410	75697	14556	11291	15121	195324
Custo de transporte (€/ano)	7740	22277	54502	13974	13549	21774	**133816**

Tabela xiii. Custos de transporte para a CDA2

							Total
Distância CDA-Bovinicultura (km)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	
Número de boviniculturas	10	35	29	12	5	1	92
Total de chorume (m^3/ano)	25678	81478	58452	20792	6874	821	194095
Custo de transporte (€/ano)	6163	39109	42085	19960	8249	1182	**116749**

Tabela xiv. Custos de transporte para a CDA3

					Total
Distância CDA-Bovinicultura (km)	**1**	**2**	**3**	**4**	
Número de boviniculturas	16	39	25	6	86
Total de chorume (m^3/ano)	36542	78465	67254	10071	192332
Custo de transporte (€/ano)	8770	37663	48423	9668	**104524**

Tabela xv. Custos de transporte para a CDA4

						Total
Distância CDA-Bovinicultura (km)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	
Número de boviniculturas	10	24	32	24	8	98
Total de chorume (m^3/ano)	27645	51926	68527	37858	10293	196248
Custo de transporte (€/ano)	6635	24924	49339	36344	12351	**129593**

Tabela xvi. Custos de transporte para a CDA5

						Total
Distância CDA-Bovinicultura (km)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	
Número de boviniculturas	8	18	38	21	11	96
Total de chorume (m^3/ano)	23129	55277	55028	40626	20422	194482
Custo de transporte (€/ano)	5551	26533	39620	39001	24506	**135211**

Tabela vii. Custos de transporte para a CDA6

						Total
Distância CDA-Bovinicultura (km)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	
Número de boviniculturas	14	16	27	29	1	87
Total de chorume (m^3/ano)	24324	30869	53352	45801	29443	183789
Custo de transporte (€/ano)	5838	14817	38413	43969	35332	**138369**

Tabela viii. Custos de transporte para a CDA7

									Total
Distância CDA-Bovinicultura (km)	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**15**	
Número de boviniculturas	6	17	42	14	17	8	1	1	106
Total de chorume (m^3/ano)	12060	18038	64138	16385	21623	7415	805	1020	141483
Custo de transporte (€/ano)	5789	17316	92358	31459	51894	21355	2705	3672	**226548**

Tabela ix. Custos de transporte para a CDA8

									Total
Distância CDA-Bovinicultura (km)	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**15**	
Número de boviniculturas	2	12	30	27	32	78	39	11	231
Total de chorume (m^3/ano)	4210	14258	45473	19385	27591	36961	9122	658	157658
Custo de transporte (€/ano)	2021	13688	65481	37218	66218	106448	30650	2369	**324093**